73.2437
SW8
269076

宋 文 榜

异步电动机绕组重绕的简易计算

电力工业出版社

异步电动机绕组重绕的简易计算

宋 文 榜

电 力 工 业 出 版 社

异步电动机绕组重绕的简易计算

宋 文 榜

*

电力工业出版社出版
（北京德胜门外六铺炕）
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32 开 本 2 印张 41 千字
1980年 7 月第一版 1980年 7 月北京第一次印刷
印数 00001 — 38150 册 定价 0.20 元
书号 15036·4085

前　言

异步电动机是生产中应用最广的一种动力机械，电动机在使用中由于种种原因可能损坏，因此需要修理。对于有线圈的电动机，只要拆去旧线圈重绕和重新下线就可以修复。而有些电动机却只有空壳铁芯，那末就要重新确定电动机的容量、极数、每槽导线数和线径。如果有铭牌，根据铭牌上的技术数据，再查对异步电动机铁芯和线圈的数据就可以方便地确定以上所要求的参数。万一铭牌遗失，就需要从铁芯尺寸进行计算，求出线圈的匝数和线径，本书以简易的计算来确定上述参数，力求通俗易懂，便于掌握，具有初中文化程度的读者可以学懂学会。

由于作者学识有限，缺点或不妥之处在所难免。希望广大读者提出宝贵意见，加以指正。

作　者

一九七九年十月

目　　录

前　言

第一章　单相异步电动机定子绕组重绕的计算…… 1

第二章　三相异步电动机定子绕组重绕的
计算法（一）…… 9

第三章　三相异步电动机定子绕组重绕的
计算法（二）……19

第四章　三相异步电动机定子绕组重绕的
计算法（三）……27

第五章　三相异步电动机定子绕组重绕的
计算法（四）……33

第六章　导线直径选择和槽满率及节距的计算……39

第七章　单相和三相异步电动机改接的计算……44

附表 1　电机绝缘的等级标准 ……54

附表 2　三相异步电动机的标准容量等级(千瓦)……54

附表 3　三相异步电动机的空载电流标准 ……54

附表 4　交流电动机局部更换线圈后的绝
缘耐压试验要求 ……55

附表 5　圆铜线的规格……55

第 一 章

单相异步电动机定子绕组重 绕 的 计 算

一、单相异步电动机的定子绕组

单相异步电动机的定子绕组和三相异步电动机类似。但是，由于单相异步电动机没有一定的旋转方向这一特点，因而必须要有一套起动绕组（或者叫辅助绕组）帮助起动，并固定电动机的转动方向。所以在单相异步电动机的定子铁芯上一般放有两套绕组，即工作绕组（或者叫运行绕组、主绕组）和起动绕组。起动绕组有的在电动机起动后就与电网断开（利用电动机轴上的离心开关），有的则在电动机起动后仍然接在电网上。

工作绕组和起动绕组的型式有单层同心和单层叠绕两种。采用单层同心式绕组的电动机，其起动绕组一般就嵌在工作绕组的表面（上层绕组）。采用单层叠绕式绕组的电动机，其工作绕组占有定子槽数的 2 / 3 （如定子槽数 $Q_1 = 24$ 槽，工作绕组要占 $\frac{2}{3} \times 24 = 16$ 槽），而起动绕组只占定子槽数的 $\frac{1}{3}$（$\frac{1}{3} \times 24 = 8$ 槽）。绕组的节距则都是全节距。

单相异步电动机常见的故障有绕组短路、断线、线圈接地、起动绕组损坏等。这些故障均比较容易处理。如果电动机铭牌上字迹不清或铭牌遗失，且没有原来的线圈，而只有一只空壳铁芯时，就必须重新进行计算，才能把电动机修复。

二、从定子铁芯尺寸计算定子绕组

单相异步电动机定子绕组重算时必须掌握以下的数据：

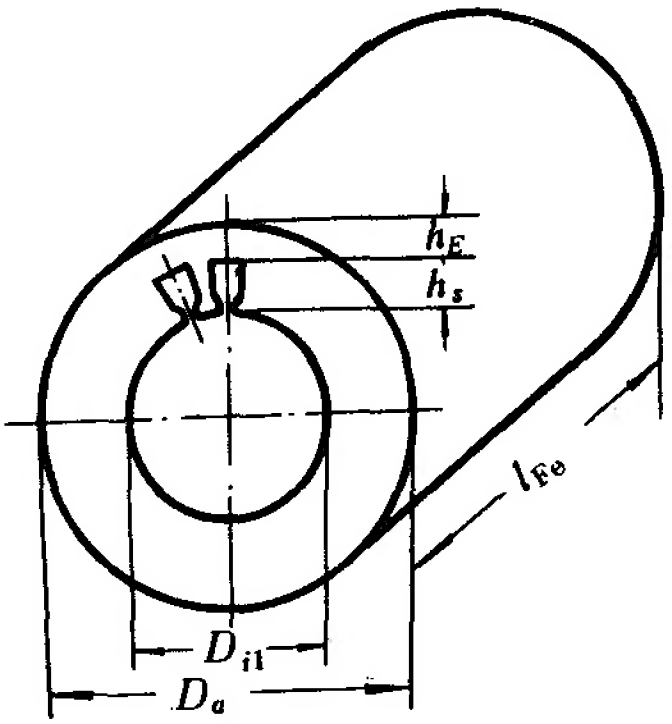


图 1－1　单相异步电动机定子铁芯示意图

（1）电动机运行时的电源电压及频率（如：220伏,50赫）。

（2）电动机的极数或转速，若无铭牌，无法查找时，可按下式决定：

$$2p = 0.5\frac{D_{i1}}{h_E}, \qquad (1\text{-}1)$$

式中　$2p$——电动机的最少极数；

D_{i1}——定子铁芯的内直径(厘米)；

h_E——定子磁轭高度(厘米)。

（3）电动机的容量，若无铭牌数据，可以先假定为$\frac{1}{4}$马力、$\frac{1}{2}$马力等进行试算。然后在安排绕组时再校验。

（4）电动机的绕组型式。

（5）测量定子铁芯的以下各项尺寸（参见图 1－1）：

D_a：铁芯的外直径 (厘米)；

D_{i1}：铁芯的内直径（厘米）；

L_{Fe}：铁芯的净长度（厘米）；

Q_1：定子的槽数；

b_t：定子齿的宽度（最窄处）（厘米）；

h_E：定子轭的高度（厘米）。

并量出定子槽形的尺寸。测量定子槽形时，可用质软而较厚的白纸，贴住定子的槽口，用手指在纸上向定子槽口压印一下，白纸上立即留下槽形的痕迹，而后从纸上测量槽形的尺寸。

（6）工作绕组匝数的计算

对于工作电压为220伏的工作绕组的每相串联匝数Z_Φ可从下式求出：

$$Z_\Phi = \frac{30\times10^3}{Q_K}\text{（匝/相）}, \qquad (1\text{-}2)$$

式中 Q_K——沿空气隙的定子铁芯极距面积。

$$Q_K = \frac{\pi D_{i1} l_{Fe}}{2p}\text{（厘米}^2\text{）}。 \qquad (1\text{-}3)$$

根据所求得的Z_Φ，可以校验定子磁轭和定子齿部的磁感应强度。

在电源电压为220伏，频率因50赫时，定子磁轭的磁感应强度B_c为：

$$B_c = \frac{0.5\times10^8}{Q_c\times Z_\Phi}\text{（高斯）}, \qquad (1\text{-}4)$$

式中 Q_c——定子磁轭的截面积。

$$Q_c = K_c h_E l_{Fe}\text{（厘米}^2\text{）}, \qquad (1\text{-}5)$$

式中 K_c——铁芯叠压系数（$K_c=0.93$）。

定子齿的磁感应强度B_z为：

$$B_z = \frac{1.57\times10^8}{Q_z\times Z_\Phi}\text{（高斯）}, \qquad (1\text{-}6)$$

式中 Q_z——定子齿的截面积。

$$Q_z = \frac{Q_1}{2p} l_{Fe} \times b_t \times K_c \text{（厘米}^2\text{）。} \qquad (1\text{-}7)$$

按式（1－4）、（1－6）计算的B_c、B_z的数值应不超出表1－1所列的允许值，否则必须重新计算（如重新选定极数并重新计算相匝数等）。若B_c、B_z的数值与表1－1相差不大时，也可以调整Z_ϕ的数值。例如调整$Z_{\phi 1}$。$Z_{\phi 1}$的数值要比Z_ϕ稍大，这样就能使B_c、B_z达到允许的范围，其计算方法为：

$$Z_{\phi 1} = Z_\phi \times \frac{B_c}{B_{c1}}。 \qquad (1\text{-}8)$$

上式B_{c1}可从附表1－1中选定。则$Z_{\phi 1}$就是新选定的每相匝数。

例如，有一台四极单相异步电动机，经上述计算结果：当Z_ϕ=743匝/相时，$B_c = 1.4 \times 10^4$高斯，已超出表1－1的允许范围。现在选$B_{c1} = 1.3 \times 10^4$高斯，那末

$$Z_{\phi 1} = Z_\phi \times \frac{B_c}{B_{c1}} = 743 \times \frac{1.4 \times 10^4}{1.3 \times 10^4} = 800 \text{ 匝/相。}$$

表1－1 小功率单相异步电动机的磁感应强度值（f=50赫）

铁芯部位	磁感应强度的允许值（高斯）	
	极数 $2p=2$	极数 $2p=4$，6
定子磁轭B_c	$(1.1\sim1.4)\times10^4$	$(1.0\sim1.3)\times10^4$
定子齿部B_z	$(1.3\sim1.7)\times10^4$	$(1.3\sim1.7)\times10^4$

B_c、B_z值为什么不能超出表1－1的数值呢？这是由于国产硅钢片的性能和电动机生产工艺水平所决定的。如果B_c、B_z值超出表1－1的范围，电动机的空载电流会增加，铁芯的损耗也增大，甚至严重发热，影响电动机的性能，或造成电动

机不能使用。

（7）每槽导线数的决定

工作绕组占有$\frac{2}{3}$的定子槽数，因而，每槽中的有效导线数Z为：

$$Z=\frac{2Z_{\Phi}}{\frac{2}{3}Q_1}=\frac{3Z_{\Phi}}{Q_1}\text{（匝/槽）。}\qquad(1\text{-}9)$$

起动绕组占有$\frac{1}{3}$的定子槽数。但其匝数与工作绕组相同。所以每槽中的有效导线数Z_q为：

$$Z_q=\frac{2Z_{\Phi}}{\frac{1}{3}Q_1}=\frac{6Z_{\Phi}}{Q_1}=2Z\text{（匝/槽）。}\qquad(1\text{-}10)$$

（8）导线直径的计算

当已知电动机的容量P_e时，可求得电动机的额定电流I_e，

$$I_e=\frac{P_e\times10^3}{U_e\times\eta\times\cos\varphi}\text{（安），}\qquad(1\text{-}11)$$

式中 P_e——电动机的额定功率（千瓦）；

η——电动机的效率（%）；

$\cos\varphi$——电动机的功率因数。

当$U_e=220$伏，试算时可取$\eta=80\%$，$\cos\varphi=0.82$，则

$$I_e=\frac{P_e\times10^3}{220\times0.80\times0.82}=7P_e\text{（安）。}\qquad(1\text{-}12)$$

一般小功率（小于1千瓦）的单相异步电动机定子绕组的电流密度$\Delta=4.5\sim5.5$安/毫米^2，所以导线的截面积：

$$S_e=\frac{I_e}{\Delta}\text{（毫米}^2\text{）。}\qquad(1\text{-}13)$$

导线的直径：

$$d=1.13\sqrt{S}\text{（毫米）。}\qquad(1\text{-}14)$$

试算时取$I_e=7P_e$（安），$\Delta=5$（安/毫米^2），则导线

的直径：

$$d = 1.34\sqrt{P_e} \text{ 或 } d = 0.5\sqrt{I_e} \qquad (1\text{-}15)$$

起动绕组的每槽导线数 $Z_q = 2Z$。为了保证在 $\frac{1}{3}$ Q_1 槽中能容纳 Z_q 的匝数，起动绕组的导线截面积应减少一半，即：

$S_q = 0.5S$（毫米^2）或 $d_q = 0.71\,d$（毫米）。　　(1-16)

在确定了每槽导线数和导线直径后，还必须计算绕组的结构尺寸(宽度与长度)，并校核定子槽中是否能放下所计算的匝数。关于这部分的计算，请参看本书第六章的有关内容。

例如，有一台单相封闭式结构的异步电动机，从铭牌上可以看出：

额定功率　$P_e = 0.5$马力（0.5×736瓦）；

额定电压　$U_e = 220$伏。

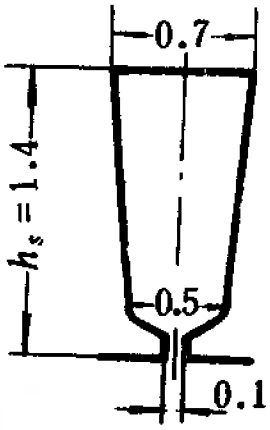


图 1-2　定子铁芯槽形及尺寸图

测得定子铁芯的数据是：

D_a=14厘米；　D_{i1}= 9 厘米，　l_{Fe} = 5.3厘米，　Q_1 = 36槽。 定子槽深 h_s = 1.4厘米，定子齿宽 b_t = 0.3厘米。定子轭的高度（见图 1 - 2）：

$$h_E = \frac{D_a - D_{i1}}{2} - h_s$$

$$= \frac{14 - 9}{2} - 1.4 = 1.1\text{厘米。}$$

电动机的极数：

$$2p = 0.5 \times \frac{D_{i1}}{h_E} = 0.5 \times \frac{9}{1.1} = 4.1, \quad \text{取} 2p = 4\text{。}$$

极距截面积：

$$Q_K = \frac{\pi D_{i1}\, l_{Fe}}{2p} = \frac{3.14 \times 9 \times 5.3}{4} = 37.7\text{厘米}^2\text{。}$$

工作绕组每相串联匝数：

$$Z_\Phi = \frac{30\times10^3}{Q_K} = \frac{30\times10^3}{37.7} = 796\text{匝/相}。$$

工作绕组每槽导线数：

$$Z = \frac{3Z_\Phi}{Q_1} = \frac{3\times796}{36} = 66.5\text{匝/槽}，\text{取}Z = 66\text{匝/槽}。$$

起动绕组每槽导线数：

$$Z_q = 2Z = 2\times66 = 132\text{匝/槽}。$$

磁轭截面积：

$$Q_c = K_c\, h_E\, l_{Fe} = 0.93\times1.1\times5.3 = 5.42\text{厘米}^2。$$

定子轭的磁感应强度：

$$B_c = \frac{0.5\times10^8}{Q_c\times Z_\Phi} = \frac{0.5\times10^8}{5.42\times792} = 11650\text{高斯}，$$

式中 $Z_\Phi = 66\times12 = 792$匝/相。

定子齿的截面积：

$$Q_z = \frac{Q_1}{2p} l_{Fe}\times b_t\times K_c = \frac{36}{4}\times5.3\times0.3\times0.93$$

$$= 13.3\text{厘米}^2。$$

定子齿的磁感应强度：

$$B_z = \frac{1.57\times10^8}{Q_z\times Z_\Phi} = \frac{1.57\times10^8}{13.3\times792} = 14900\text{高斯}。$$

B_c、B_z的数值都在表 1－1 的允许值范围内，因此计算结果是正确的。

电动机的额定电流：

$$I_e = 7P_e = 7\times0.5\times0.736 = 2.58\text{安}。$$

工作绕组的线径：

$$d = 0.5\sqrt{I_e} = 0.5\sqrt{2.58} = 0.8\text{毫米}。$$

起动绕组的线径：

$$d_q = 0.71\,d = 0.71 \times 0.8 = 0.57\text{毫米。}$$

绕组的节距（跨距）：$y = 1 — 10$。

绕组的展开图，见图 1－3 。

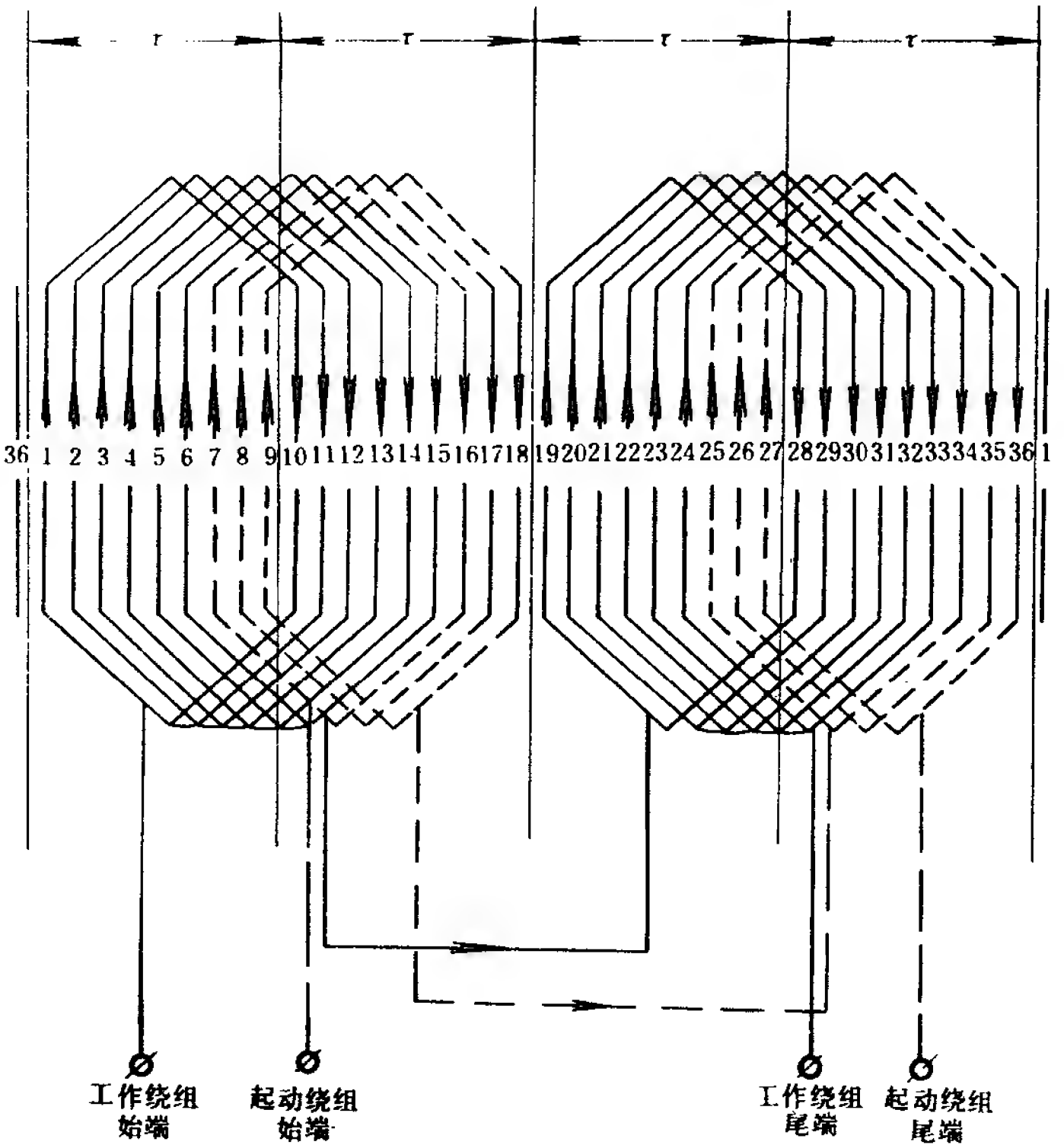


图 1-3　单相异步电动机定子绕组展开图

$Q_1 = 36$；　$2p = 4$；　$y = 1 — 10$

第 二 章

三相异步电动机定子绕组重绕的计算法（一）

三相绕线式或鼠笼式异步电动机只有铁芯而没有定子绕组的数据时，或是铭牌遗失，电动机的型号规格不明时，可以从下面叙述的经验公式的计算中，迅速、准确地确定绕组的槽线数与线径。

一、每相串联的匝数

$$Z_\Phi = \frac{(22.4 \sim 24) \times 10^3}{Q_K} \text{（匝/相），} \qquad (2\text{-}1)$$

式中 Q_K——沿空气隙的极距面积（厘米^2），

$$Q_K = \frac{\pi D_{i1} l_{Fe}}{2p} \text{（厘米}^2\text{）。} \qquad (2\text{-}2)$$

从（2-1）式求出的Z_Φ值应取能被$\frac{Q_1}{6}$整除的整数。当不能为$\frac{Q_1}{6}$所整除时，可以稍微增加或减少Z_Φ值，使Z_Φ值成为比计算值Z_Φ大ΔZ_Φ或小ΔZ_Φ的Z_Φ'，而Z_Φ'可以被$\frac{Q_1}{6}$整除。

已知Z_Φ就可以求出每槽导线数：

$$Z = \frac{Z_\Phi \times a}{p \times q} \text{（匝/槽），} \qquad (2\text{-}3)$$

式中 q——每极每相槽数；

$$q = \frac{Q_1}{2p \times m}, \quad m \text{为相数（} m = 3 \text{）}$$

或

$$Z = \frac{6\ Z_\Phi a}{Q_1} \text{（匝/槽）。} \qquad (2\text{-}4)$$

(2-1)式中的常数（22.4～24）×10^3是一个统计的经验数。

（1）对于老系列（如J，JO型）电动机，用大的数据；新系列（如JO2型）电动机，用小数据。

（2）对于容量大于10千瓦的电动机，用小数据（误差较小）；容量小于10千瓦的电动机，用大数据。

（3）因为计算的最后还必须校核磁感应强度B_q、B_c。所以Z_ϕ的选取有时并非一次就可以准确选定。在有了一定的计算经验后就能熟练地应用这个公式。

为了保证被修理的电动机的性能，必须根据已选定的Z_ϕ、Z校验定子气隙和定子磁轭中的磁感应强度。并且只有在这两处的磁感应强度在允许范围之内时，Z_ϕ、Z的计算才可以认为合适。

二、空气隙磁感应强度的校验

空气隙磁感应强度，需按下式进行校验：

$$B_q=\frac{1.57\times10^8}{Q_K\times Z_\Phi}\text{（高斯）。}\qquad(2\text{-}5)$$

公式的推导：

$$B_q=\frac{\Phi}{\alpha_\delta\,\tau_p\,l_{Fe}}=\frac{K_E U_\Phi\times10^8}{4K_B f Z_\Phi K_W\,\alpha_\delta\,\tau_p\,l_{Fe}}$$

$$=\frac{K_E U_\Phi\times10^8}{4K_B K_W f Z_\Phi\,\alpha_\delta\frac{\pi D_{i1}}{2p}\,l_{Fe}}$$

$$l=\frac{K_E U_\Phi\times10^8}{4K_B K_W f Z_\Phi Q_K\alpha_\delta}$$

$$=\frac{0.96\times220\times10^8}{4\times1.09\times0.96\times50\times Z_\Phi\times Q_K\times0.64}$$

$$= \frac{1.57 \times 10^8}{Q_K \times Z_\Phi},$$

式中 $K_B = 1.09$（波形系数）；

$\alpha_\delta = 0.64$（极弧系数）；

$K_E = 0.96$，K_E是与异步电动机极数有关的系数；

$K_W = 0.96$（绕组系数）；

$U_\Phi = 220$伏（绕组的相电压）；

Φ——磁通量（麦）；

f——频率（赫）。

三、定子磁轭中的磁感应强度的校验

定子磁轭中的磁感应强度，需按下式进行校验：

$$B_c = \frac{0.5 \times 10^8}{Q_c \times Z_\Phi} \text{（高斯）。} \qquad (2\text{-}6)$$

公式的推导：

$$B_c = \frac{\Phi}{2 h_E l_{Fe} K_c} = \frac{K_E U_\Phi \times 10^8}{4 K_B K_W f \times 2Q_c \times Z_\Phi}$$

$$= \frac{0.96 \times 220 \times 10^8}{4 \times 1.09 \times 0.96 \times 50 \times 2Q_c Z_\Phi} = \frac{0.5 \times 10^8}{Q_c \times Z_\Phi}。$$

表 2－1　三相异步电动机的磁感应强度值（f = 50赫）

铁芯的部位	磁感应强度的允许值（高斯）	
	磁极数　$2p = 2$	$2p = 4$，6，8
定子磁轭B_c	$(1.2 \sim 1.7) \times 10^4$	$(1.0 \sim 1.5) \times 10^4$
空气隙B_q	$(0.6 \sim 0.7) \times 10^4$	$(0.65 \sim 0.8) \times 10^4$

从式（2－5）、（2－6）所计算得出的B_q、B_c的数值如果超出表2－1的允许值，就必须重新选取Z_Φ。如新选定的

是$Z_{\phi 1}$，且能为$\frac{Q_1}{6}$所整除，则

$$B_{c1} = B_c \frac{Z_\phi}{Z_{\phi 1}} \text{（高斯）。} \qquad (2\text{-}7)$$

B_{c1}为对应于$Z_{\phi 1}$的新的磁轭中的磁感应强度值。显然$Z_{\phi 1}$是比Z_ϕ大的数值。对于B_{c1}的试算，有时需要耐心地试算几次，进行比较，确定满意的结果。

当电动机的容量大于10千瓦时，必须校验空气隙中的磁感应强度值。因为空气隙及磁轭中的磁感应强度的正常数值，在某种程度上决定了其余磁路部分（如齿和转子等）的磁感应强度的允许值。

由于国产交流三相异步电动机常用的电源是380伏，50赫的电源，所以公式（2-5）、（2-6）都适用于Y接380伏和频率为50赫的电动机。对于△接380伏的电动机，每相导线数需乘以$\sqrt{3}$。

从（2-1）式计算得出的Z_ϕ'对于单层和双层全节距的绕组是正确的；对于双层短距绕组还应除以系数0.92。

当电动机的极数比较多时，随着电动机极数的增加，定子铁芯磁轭中的磁感应强度B_c要减少，但空气隙的磁感应强度B_q却要增加。这样，有时会发现当B_q刚好满足表2-1的允许值，但B_c要比表2-1规定的数值小许多。这时电动机的磁性材料的利用率太低，最好按少极数的电动机进行重新计算，以得到合理的结果。

【例1】 有一台三相电动机无铭牌，量得定子铁芯的数据是：外直径D_a=24.5厘米，内直径D_{i1}=14.5厘米，净长度l_{Fe}=11.5厘米，磁轭高h_e=3.61厘米，定子槽数Q_1=24槽。试计算定子线圈的每槽导线数。

解：（1）电动机的极数

$$2p = 0.5\frac{D_{i1}}{h_E} = 0.5 \times \frac{14.5}{3.61} = 2\text{。}$$

取 $2p = 2$ 极，同步转速 $n_1 = 3000$ 转/分，或参见表 3－1。

（2）容量 $P = 1.75 \times 10^{-6} D_{i1}^2 \ l_{Fe} n_1$

$= 1.75 \times 10^{-6} \times 14.5^2 \times 11.5 \times 3000$

$= 12.6$ 千瓦。

取 $P_e = 10$ 千瓦（按标准容量等级）。

（3）每相的串联匝数

$$Z_\phi = \frac{(22.4 \sim 24) \times 10^3}{Q_K} = \frac{(22.4 \sim 24) \times 10^3}{264}$$

$=$ （85～91）匝/相，

式中 $Q_K = \dfrac{\pi D_{i1} l_{Fe}}{2p}$

$= \dfrac{3.14 \times 14.5 \times 11.5}{2} = 264$ 厘米^2。

因为 $\dfrac{Q_1}{6} = \dfrac{24}{6} = 4$，所以取 $Z_\phi = 88$ 匝/相，使之能为 $\dfrac{Q_1}{6}$ 所整除 $\left(\dfrac{88}{4} = 22\right)$。

（4）每槽导线数

$$Z = \frac{6aZ_\phi}{Q_1} = \frac{6 \times 1 \times 88}{24} = 22\text{匝/槽，}$$

式中 $a = 1$ 路。

（5）空气隙中的磁感应强度校验

$$B_q = \frac{1.57 \times 10^8}{Q_K \times Z_\phi} = \frac{1.57 \times 10^8}{264 \times 88} = 6750\text{高斯。}$$

（6）磁轭中的磁感应强度校验

$$B_c = \frac{0.5\times10^8}{Q_c \times Z_\phi} = \frac{0.5\times10^8}{38.6\times88} = 14700\text{高斯},$$

式中 $Q_c = K_c\, h_E\, l_{Fe} = 0.93\times3.61\times11.5 = 38.6$厘米^2。

计算结果：$B_q = 6750$高斯，$B_c = 14700$高斯，均满足表2－1的允许范围。因此Z_ϕ的选定是合适的。

查得有关电工手册“异步电动机铁芯和线圈的技术数据”，其中2极10千瓦电动机每槽导线数与本例计算相符。

当定子接线为△接法时，相电压为380伏，每槽导线数$Z = 37$匝/槽。对于Y接法，相电压220伏，槽导数就是$\frac{37}{\sqrt{3}}$ $= 21.4$匝/槽$\approx$22匝/槽。所以计算是正确的。

【例2】 有一台三相异步电动机，铭牌已遗失，量得定子铁芯的数据是：外直径$D_a = 36.8$厘米，内直径$D_{i1} = 23$厘米，净长度$l_{Fe} = 18$厘米，槽深度$h_s = 3.5$厘米，

$$\frac{\text{定子槽数}}{\text{转子槽数}}\quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{48}{38}\ \text{及}\ \frac{36}{44}。$$

试计算在两种定子槽数时的每槽导线数。

解：根据前面所介绍的公式得：

（1）磁轭高度

$$h_E = \frac{D_a - D_{i1}}{2} - h_s = \frac{36.8-23}{2} - 3.5 = 3.4\text{厘米}。$$

（2）极数的确定

$$2p = 0.5\frac{D_{i1}}{h_E} = 0.5\times\frac{23}{3.4} = 3.4,\quad \text{取}\ 2p = 4\ \text{极}。$$

同步转速 $n_1 = 1500$转/分。

（3）容量的估算

$$P = 1.75\times10^{-6} D_{i1}^2\ l_{Fe}\, n_1$$

$$= 1.75 \times 10^{-6} \times 23^2 \times 18 \times 1500 = 25\text{千瓦}。$$

取 $P_e = 28$千瓦（按标准容量等级）。

（4）每相的串联匝数

$$Z_\phi = \frac{(22.4 \sim 24) \times 10^3}{326} = 69 \sim 74\text{匝/相},$$

式中 $Q_K = \dfrac{\pi D_{i1} l_{Fe}}{2p} = \dfrac{3.14 \times 23 \times 18}{4} = 326\text{厘米}^2$。

因为 $\dfrac{Q_1}{6} = \dfrac{36 \sim 48}{6} = 6 \sim 8$。

取 $Z_\phi = 66$及64匝/相，使之能为$\dfrac{Q_1}{6}$所整除（$\dfrac{66}{6} = 11$，$\dfrac{64}{8} = 8$）。

（5）每槽导线数

当 $Q_1 = 36$槽时， $Z = \dfrac{6aZ_\phi}{Q_1} = \dfrac{6 \times 2 \times 66}{36} = 22$匝/槽。

当 $Q_1 = 48$槽时， $Z = \dfrac{6aZ_\phi}{Q_1} = \dfrac{6 \times 2 \times 64}{48} = 16$匝/槽，

式中 $a = 2$路。

（6）空气隙中的磁感应强度校验

$$B_q = \frac{1.57 \times 10^8}{Q_K \times Z_\phi} = \frac{1.57 \times 10^8}{326 \times (66 \sim 64)} = 7300 \sim 7520\text{高斯}。$$

（7）磁轭中的磁感应强度校验

$$B_c = \frac{0.5 \times 10^8}{Q_c \times Z_\phi} = \frac{0.5 \times 10^8}{57 \times (66 \sim 64)} = 13300 \sim 13700\text{高斯},$$

式中 $Q_c = K_c h_E l_{Fe} = 0.93 \times 3.4 \times 18 = 57\text{厘米}^2$。

计算结果 $B_q = 7300 \sim 7520$高斯，$B_c = 13300 \sim 13700$高斯，均满足表 2－1 的要求，所以 Z_ϕ的计算是正确的。查得有关

电工手册“异步电动机铁芯和线圈的技术数据”,其中4极28千瓦电动机的每槽导线数与本例计算符合。且定子铁芯数据也相同，说明以上计算对两种槽配合都是适合的。

【例3】 有一台JO2型三相异步电动机的空壳,测得铁芯的数据为：内直径$D_{i1}=14.5$厘米，净长度$l_{Fe}=7.5$厘米。已知电动机的极数$2p=4$，定子槽数$Q_1=36$槽。试计算电动机的容量及定子每槽导线数。

解：（1）容量的估算

$$P=KD_{i1}^{2}\ l_{Fe}n_1$$
$$=1.5\times10^{-6}\times14.5^{2}\times7.5\times1500$$
$$=3.55\text{千瓦},$$

式中 $K=1.5\times10^{-6}$是从表3-2查得的。

当$2p=4$，极距$\tau=\dfrac{\pi D_{i1}}{2p}=\dfrac{3.14\times14.5}{4}=11.4$厘米

时，$K\approx1.5\times10^{-6}$。

取JO2型电动机的标准容量$P_e=4$千瓦。

（2）每相的串联匝数

$$Z_{\Phi}=\frac{(22.4\sim24)\times10^{3}}{Q_K}=\frac{(22.4\sim24)\times10^{3}}{86}$$
$$=(260\sim280)\text{匝/相},$$

式中 $Q_K=\dfrac{\pi D_{i1}l_{Fe}}{2p}=\dfrac{3.14\times14.5\times7.5}{4}=86$厘米^2。

（3）每槽导线数

$$Z=\frac{6aZ_{\Phi}}{Q_1}=\frac{6\times1\times(260\sim280)}{36}$$
$$\doteq43.5\sim46.5\text{匝/槽},$$

式中 $a=1$路。

取槽线数 $Z=45$ 匝/槽。

（4）空气隙中的磁感应强度校验

$$B_q=\frac{1.57\times10^8}{Q_K\times Z_\Phi}=\frac{1.57\times10^8}{86\times270}=6750\text{高斯},$$

式中 $Z_\Phi=\frac{ZQ_1}{6a}=\frac{45\times36}{6\times1}=270$ 匝/相。

（5）磁轭中的磁感应强度校验

$$B_c=\frac{0.5\times10^8}{Q_c\times Z_\Phi}=\frac{0.5\times10^8}{14\times270}=13200\text{高斯},$$

式中 $Q_c=K_c\,h_E\,l_{Fe}=0.93\times2\times7.5=14$ 厘米^2，其中 h_E 为磁轭高（$h_E=2$ 厘米）。

以上计算 B_q、B_c 的数值，都满足表 2-1 的要求，所以计算正确。

从有关电工手册“异步电动机铁芯和线圈的技术数据”中查得，原来绕组为 $a=1$ 路，每槽导线数为45匝/槽。因此，本例计算属于核对性质。

【例 4】 有一台 JO82-2-40型（40千瓦）2极三相异步电动机，测得定子铁芯数据是：外直径 $D_a=42.3$ 厘米，内直径 $D_{i1}=24.5$ 厘米，净长度 $l_{Fe}=18.0$ 厘米，定子槽数 $Q_1=36$ 槽。试计算改为 $2p=4$ 极时的每槽导线数。

解：（1）每相串联匝数

$$Z_\Phi=\frac{(22.4\sim24)\times10^3}{Q_K}$$

$$=\frac{(22.4\sim24)\times10^3}{345}=65\sim69.5\text{匝/相},$$

式中 $Q_K=\frac{\pi D_{i1}\,l_{Fe}}{2p}$

$$= \frac{3.14 \times 24.5 \times 18}{4} = 345\text{厘米}^2。$$

（2）每槽导线数

$$Z = \frac{6\,a\,Z_\varphi}{Q_1} = \frac{6 \times 1 \times (65 \sim 69.5)}{36}$$

$$= 43.2 \sim 46.5\text{匝/槽}。$$

取$Z = 45$匝/槽。与第三章【例3】计算结果一样。

【例5】 有一台三相异步电动机，型号为J72-6，20千瓦，△/Y接法，220/380伏，970转/分，50赫。量得其定子铁芯数据是：外直径$D_a = 39.0$厘米，内直径$D_{i1} = 26.1$厘米，净长度$l_{Fe} = 15.1$厘米，磁轭高$h_E = 2.6$厘米，定子槽数$Q_1 = 54$槽。试决定其每槽导线数。

解：根据式（2-1）、（2-2）、（2-3）

（1）电动机的极数

$$2p = 0.5\frac{D_{i1}}{h_E} = 0.5 \times \frac{26.1}{2.6} = 5 < 6。$$

计算结果表明定子铁芯磁轭的高度对于6极电动机，其尺寸较为充裕。这样在确定每槽导线数时，可以按其与6极极数的比例数$\left(\text{即}\frac{5}{6} = 0.83\right)$适当地减少槽线数，以节约用线。

（2）容量的估算

$$P = 1.75 D_{i1}^2\ l_{Fe} n_1 \times 10^{-6}$$

$$= 1.75 \times 26.1^2 \times 15.1 \times 10^3 \times 10^{-6}$$

$$= 17.8\text{千瓦},$$

式中 同步转速$n_1 = 1000$转/分（当$2p = 6$极时）。计算结果表明电动机的铁芯容量可以达到20千瓦的要求。

（3）每相串联匝数

$$Z_\Phi = \frac{(22.4\sim24)\times10^3}{Q_K} = \frac{(22.4\sim24)\times10^3}{124}$$

$$= 180\sim193\text{匝/相},$$

式中 $$Q_K = \frac{\pi D_{i1} l_{Fe}}{2p} = \frac{3.14\times26.1\times15.1}{6}$$

$$= 124\text{厘米}^2。$$

（4）每槽导线数

$$Z = \frac{6aZ_\Phi}{Q_1} = \frac{6\times1\times(180\sim193)}{54} = 21\sim21.4\text{匝/槽}。$$

实际每槽导线数取 $Z' = \frac{5}{6}Z = 0.83\times(21\sim21.4) = 16.7\sim17.8$匝/槽，取18匝/槽。

从有关电工手册“异步电动机铁芯和线圈的技术数据”中查得，这台电动机的原设计每槽导线数为18匝/槽，说明以上的简易计算结果是正确的。

第三章

三相异步电动机定子绕组重绕的计算法（二）

三相异步电动机绕组的计算，也可以直接从定子铁芯的有关尺寸数据入手。在计算新绕组前，必须确定电动机的电压、频率、转速、功率和绕组的连接法。三相异步电动机的电源电压通常是三相380伏，频率为50赫。电动机的同步转速与频率的关系如式（3-1）所示。也可以从表3-1查出。

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{3000}{p}\ (\text{转/分}),\qquad (3\text{-}1)$$

式中　n_1——电动机的同步转速（转/分）；

f——电网频率（50赫）；

p——电动机的极对数。

表 3－1　　电动机的极数与转速的关系（f = 50赫）

磁极数	电动机的额定转速（转/分）	同步转速（转/分）	转差率（%）
2	2850～2900	3000	5～3.3
4	1425～1465	1500	5～2.3
6	950～970	1000	5～3
8	710～725	750	5.3～3.3
10	570～580	600	5～3.3
12	475～487	500	5～3.4

对于以上所确定的参数（如果极数、功率不明，可参见前一章的有关计算公式进行计算），新绕组的计算主要是确定：

（1）铁芯尺寸够不够所需的功率；

（2）定子线圈的每槽导线数（或每相导体数）；

（3）计算导线的截面积；

（4）校核定子每槽的槽满情况；

（5）确定线圈的节距。

本章主要介绍根据铁芯尺寸计算绕组匝数的简易方法。（3）、（4）及（5）项将分别在以后的有关章节中叙述。

（1）必须测量的定子铁芯的数据

外直径D_a（厘米）；内直径D_{i1}（厘米）；

净长度 l_{Fe}（厘米）；磁轭高度 h_E（厘米）；

定子槽数Q_1。

（2）电动机转速的确定

当不明电动机的极数时，仍可按公式（1－1）计算电动机的最少极数，即

$$2p = 0.5\frac{D_{i1}}{h_E}。 \qquad (3\text{-}2)$$

不过，在求得的数据中，应取其临近的整偶数，并且从计算的实例证明可以把数值增加到所需要的数值。同时要初步校核$\frac{Q_1}{6p}$是否为整除数。

例如，有一台电动机$Q_1 = 48$槽。计算结果$2p > 4$。若取$2p = 6$，则$\frac{Q_1}{6p} = \frac{48}{6 \times 3}$不能整除，就必须重新确定极数。如取$2p = 4$，使$\frac{Q_1}{6p} = \frac{48}{6 \times 2} = 4$为整除数。极数确定了就能够决定电动机的转速。

（3）电动机功率的估算

当电动机的容量不明时，可从下面的公式进行估算：

$$P = KD_{i1}^2 \times l_{Fe} \times n_1 \text{（千瓦）}, \qquad (3\text{-}3)$$

式中 K——电动机的容量系数。

试算时可取$K = 1.75 \times 10^{-6}$。也可以从表 3－2 中查得K值。

从有关电工手册或其它书籍上得知：

$$\frac{D_{i1}^2 \ l_{Fe} n_1}{P} = \frac{6.1 \times 10^{11}}{\alpha_\delta K_B K_W A B_q} = C_A,$$

$$P = KD_{i1}^2 \times l_{Fe} \times n_1,$$

式中 $K = \frac{1}{C_A}$；

C_A——电动机常数；

α_δ——电动机的极弧系数。对于没有径向通风沟的电动机，$\alpha_\delta = 0.63 \sim 0.72$；

K_B——磁场曲线的波形系数。对于正弦形曲线，$K_B=1.11$；

K_W——绕组系数，$K_W=0.92\sim0.96$；

A——电动机的线负载（安/厘米）；

B_q——空气隙中的最大磁感应强度（高斯）。

对于短距（$y=0.8\tau_p$）的双层绕组，$K_W=0.92$；对于单层整距绕组，$K_W=0.96$。一般中小型电动机（<100千瓦）：$A=200\sim250$安/厘米；$B_q=6500\sim8000$高斯。取$\alpha_\delta=0.65$，$K_B=1.11$，$K_W=0.92$，$A=248$安/厘米，$B_q=6500$高斯，

$$K=\frac{0.65\times1.11\times0.92\times248\times6500}{6.1\times10^{11}}=1.75\times10^{-6}。$$

表 3-2　电动机的容量系数K与极距τ_p的关系

$2p=2$		$2p=4$		$2p=6$		$2p=8$	
τ_p(厘米)	$K(\times10^{-6})$	τ_p(厘米)	$K(\times10^{-6})$	τ_p(厘米)	$K(\times10^{-6})$	τ_p(厘米)	$K(\times10^{-6})$
11.8	1.31	8.8	1.3~1.5	6.3	1.18	7.06	0.875~1.045
15.4	1.4~1.55	12.2	1.55~1.75	8.65	1.34~1.40	9.25	1.51~1.85
20.4	1.73~1.78	16.1	2.11~2.33	11.5	1.93~2.18	11	1.8~1.84
28.2	1.91~2.16	18.5	2.55~2.62	13.6	2.19~2.25	11.8	2.28~2.44
32.2	2.34~2.44	21.6	2.72~2.86	15.7	2.58~2.47		
37	2.67~2.76						

（4）计算电动机的两个机械尺寸

1）极距　$\tau_p=\dfrac{\pi D_{i1}}{2p}$（厘米）；　　(3-4)

2）齿距　$t=\dfrac{\pi D_{i1}}{Q_1}$（厘米）。　　(3-5)

（5）决定两个电气参数

1）电动机的额定电流 I_e：

$$I_e = 2P_e \text{（安）}, \tag{3-6}$$

式中 P_e——电动机的额定功率（千瓦）。

从（3-3）式求得的计算功率后，应取电动机的标准容量分级中相近的一级容量作为电动机的额定功率 P_e。因为

$$P_e = \sqrt{3}\,U_e\,I_e\,\eta\cos\varphi\times10^{-3} \text{（千瓦）},$$

式中 U_e——电动机的额定电压(伏)；

η——电动机的效率(%)；

$\cos\varphi$——电动机的功率因数。

取 $\eta = 87\%$，　$\cos\varphi = 0.87$，　$U_e = 380$伏，则

$$I_e = \frac{P_e\times10^3}{\sqrt{3}\,U_e\eta\cos\varphi}$$

$$= \frac{P_e\times10^3}{\sqrt{3}\times380\times0.87\times0.87} = 2P_e。$$

2）并联支路数 a：

电动机定子绕组的并联支路数 a 可以从被修理电动机的具体要求来确定（参见表3-3）。具体地说，并联支路多，则每相导线数（或每槽导线数）也多，但所用导线的直径细；并联支路少则每相导线数（或每槽导线数）也少，但所用导线的直径粗。并联支路数的选取还应该考虑电动机下线时不发生困难。譬如并联支路数多，导线较细，下线时容易嵌槽。但每槽导线数也多，线的绝缘就相对增加，槽满率可能高，将给最后封槽造成困难。

表3-3　　三相绕组的并联支路数

磁极数	2	4	6	8	10
并联支路数	1，2	1，2，4	1，2，3，6	1，2，4，8	1，2，5，10

（6）计算每槽导线数Z

$$Z=\frac{A\,t\,a}{I_e}\text{（匝/槽）。}\qquad(3\text{-}7)$$

式中的A可以从以下的几个经验公式确定：

当$2p=2$时，$A=6\tau_p+130$；

当$2p=4$时，$A=9\tau_p+130$；

当$2p=6$时，$A=11\tau_p+165$。

A的经验公式是从$P_e=1.0\sim40$千瓦（2，4，6极）电动机，定子铁芯内径$D_{i1}=7.5\sim35$厘米的数据整理后得出的。

【例1】 有一台三相异步电动机，无铭牌数据。测得定子铁芯的数据为：外直径$D_a=18.2$厘米，内直径$D_{i1}=11$厘米，净长度$l_{Fe}=10.5$厘米，磁轭高$h_E=1.7$厘米，定子槽数$Q_1=36$槽。试计算每槽导线数。

解：（1）极数

$$2p=0.5\frac{D_{i1}}{h_E}=0.5\times\frac{11}{1.7}=3.23,$$

取$2p=4$，　同步转速$n_1=1500$转/分。

（2）容量

$$P=1.75\times10^{-6}D_{i1}^2\times l_{Fe}\times n_1$$

$$=1.75\times10^{-6}\times11^2\times10.5\times1500=3.24\text{千瓦},$$

取$P_e=2.8$千瓦（按标准容量等级）。

当$\tau_p=\frac{\pi D_{i1}}{2p}=\frac{3.14\times11}{4}=8.65$厘米，从表3-2查得$K=1.45\times10^{-6}$，则

$$P=1.45\times10^{-6}\times11^2\times10.5\times1500=2.77\text{千瓦}。$$

所以选$P_e=2.8$千瓦是合适的。

（3）极距

$$\tau_p = \frac{\pi D_{i1}}{2p} = \frac{3.14 \times 11}{4} = 8.65\text{厘米}。$$

（4）齿距

$$t = \frac{\pi D_{i1}}{Q_1} = \frac{3.14 \times 11}{36} = 0.968\text{厘米}。$$

（5）线负载

$$A = 9\tau_p + 130 = 9 \times 8.65 + 130 = 208\text{安/厘米}。$$

（6）槽线数

$$Z = \frac{A\,t\,a}{I_e} = \frac{208 \times 0.968 \times 1}{5.6} = 36\text{匝/槽},$$

式中 $I_e = 2P_e = 2 \times 2.8 = 5.6$安；

$a = 1$路。

从有关电工手册“异步电动机铁芯和线圈的技术数据”中查得，JO42-4型2.8千瓦电动机$Z = 35$匝/槽，且铁芯尺寸与上述相同。因此以上的计算对于修理的电动机是合适的。

【例2】 有一台JO型三相异步电动机铭牌上字迹不清，可读出电流为38.1安，今测得定子铁芯数据为：外直径$D_a = 37.7$厘米，内直径$D_{i1} = 23.5$厘米，净长度$l_{Fe} = 9.5$厘米，磁极数$2p = 4$，定子槽数$Q_1 = 48$槽。试计算每槽导线数。

解：（1）极距

$$\tau_p = \frac{\pi D_{i1}}{2p} = \frac{3.14 \times 23.5}{4} = 18.4\text{厘米}。$$

（2）容量

$$P = 2.55 \times 10^{-6} \times 23.5^2 \times 9.5 \times 1500$$

$$= 20.1\text{千瓦}, \quad \text{取}P_e = 20\text{千瓦},$$

式中 $K = 2.55 \times 10^{-6}$是从表3-2查出的。

（3）齿距

$$t = \frac{\pi D_{i1}}{Q_1} = \frac{3.14 \times 23.5}{48} = 1.55\text{厘米。}$$

（4）电流

$$I_e = 38.1\text{安（铭牌数据）。}$$

（5）线负载

$$A = 9\tau_p + 130 = 9 \times 18.4 + 130 = 296\text{安/厘米。}$$

（6）槽线数

$$Z = \frac{A\,t\,a}{I_e} = \frac{296 \times 1.55 \times 2}{38.1}$$

$$= 24.1\text{匝/槽，} \qquad \text{取 } Z = 24\text{匝/槽，}$$

式中 $a = 2$ 路。

从有关电工手册“异步电动机铁芯和线圈技术数据”中查得，JO71-4型①20千瓦电动机 $a = 2$，$Z = 24$匝/槽。以上计算与之一致，计算的结果是正确的。

【例3】 有一台JO82-2型电动机，功率40千瓦。测得定子铁芯的数据是：外直径 $D_a = 42.3$厘米，内直径 $D_{i1} = 24.5$厘米，净长度 $l_{Fe} = 18$厘米，磁轭高 $h_E = 5.9$厘米，磁极数 $2p = 4$，定子槽数 $Q_1 = 36$槽，并联支路数 $a = 2$。今要改为4极电动机，试计算其槽线数。

解：（1）极距

$$\tau_p = \frac{\pi Q_{i1}}{2p} = \frac{3.14 \times 24.5}{4} = 19.2\text{厘米。}$$

（2）校核极数

$$2p = 0.5\frac{D_{i1}}{h_E} = 0.5 \times \frac{24.5}{5.9} = 2.08。$$

① 该型号电动机为上海旋转电机公司于1957年设计的。

计算结果表明原来电动机是2极，而要改为4极电动机，必须适当降低容量。因为从式（3-3）可以看出，电动机的容量在电机制成后，只与它的转速成正比例变化。虽然当 τ_p = 19.2厘米时，从表 3-2 查得 $K \approx 2.55 \times 10^{-6}$。容量 $P = 2.55 \times 10^{-6} \times 24.5^2 \times 18 \times 1500 = 41.2$千瓦，即当电动机改为4极后，铁芯容量仍可达40千瓦，但考虑通风情况变化，可按降低一级容量计算，即取 $P_e = 28$千瓦。

（3）电流

$$I_e = 2P_e = 2 \times 28 = 56\text{安}。$$

（4）齿距

$$t = \frac{\pi D_{i1}}{Q_1} = \frac{3.14 \times 24.5}{36} = 2.14\text{厘米}。$$

（5）线负载

$$A = 9\tau_p + 130 = 9 \times 19.2 + 130 = 302\text{安/厘米}。$$

（6）槽线数

$$Z = \frac{A\,t\,a_1}{I_e} = \frac{302 \times 2.14 \times 4}{56} = 46\text{匝/槽}。$$

式中 $a_1 = 4$ 路，因为电动机改为4极。参见第二章【例4】，与本计算结果相同。

第 四 章

三相异步电动机定子绕组重绕的计算法（三）

前两章已介绍了两种从定子铁芯尺寸试算定子绕组的方法。本章是根据电动机的额定电压和每极的磁通来决定每槽导线数的方法。对于电动机的极数和容量的估算仍可以参照

第二章的计算方法。

为了便于计算，采用以下的符号。

一、符号及其说明

D_a，D_{i1}，l_{Fe}，τ_p，Q_K，B_q，Q_c，B_c，h_E及Q_1符号的含义与前面叙述的相同。

Q_z：定子齿的面积（厘米^2）；

b_t：定子齿的宽度（厘米）；

h_s：定子槽的深度（厘米）；

B_z：定子齿的磁感应强度（高斯）；

Φ：一个磁极的磁通（麦）；

b：近槽口处的直径（厘米）（见图 6－1）；

y：绕组的全节距。

二、计算公式及计算的次序

（1）极距　$\tau_p = \dfrac{\pi D_{i1}}{2p}$（厘米）。

（2）极距面积

$$Q_K = \frac{\pi D_{i1} l_{Fe}}{2p} \approx \tau_p l_{Fe}\ (\text{厘米}^2)。$$

（3）每极磁通　$\Phi = 0.637 Q_K B_q$（麦）。

B_q的值可以从表 4－1 选取。

（4）定子磁轭高度（两倍值）

$$2h_E = D_a - (D_{i1} + h_s)\ (\text{厘米})。$$

（5）定子磁轭的截面积（两倍值）

$$2Q_c = 2 \times 0.93\, h_E l_{Fe} = 1.86\, h_E l_{Fe}\ (\text{厘米}^2)。$$

（6）定子磁轭的磁感应强度

$$B_c = \frac{\Phi}{2Q_c}$$（高斯）。

（7）校核定子齿部的磁感应强度

$$B_z = \frac{1.57\Phi}{Q_z}$$（高斯），

式中 $Q_z = K_c \frac{Q_1}{2p} b_t l_{Fe}$（厘米^2）。

（8）绕组的电压及节距

额定相电压$U_{\Phi e}$=220伏（对于Y接380伏）

节距 $$y = \frac{Q_1}{2p}$$。

对于单层绕组采用全节距；

对于双层绕组采用短节距。

（9）每相串联匝数

$$Z_\Phi = \frac{U_{\Phi e} \times 10^6}{2.22\Phi}$$（匝/相）。

（10）每槽导线数

$$Z = \frac{6aZ_\Phi}{Q_1}$$（匝/槽）。

在计算时应绘出定子槽的槽形尺寸图。

三、应该注意的几点

（1）以上的计算中，因为空气隙中的磁感应强度B_q可以从表4－1中选取，所以磁轭中的磁感应强度，齿中的磁感应强度均属于校核性质的验算。

（2）如果计算出的B_c值与表4－1所列的数据相差很大，且极数$2p$又是电动机的真实极数，则必须重新修正气

隙磁感应强度B_q值；若$2p$值是计算时假定的，那末必须改变极数后再进行计算。

（3）极数的计算仍从$2p = 0.5\frac{D_{i1}}{h_E}$求出。

（4）若B_c值大于表4-1中的数值，必须增加极数；小于表4-1所列数值，应减少极数。

（5）以上计算公式中频率f=50赫，相电压为220伏。

（6）每相的匝数Z_ϕ对于单层全距绕组是正确的，对于双层绕组必须除以绕组系数f_1（f_1、短距系数K_p和分布系数K_d的关系见表4-2）。

表4-1　　500伏以下小型异步电动机的电磁负载值

名　称	符号	单　位	定子铁芯的外直径D_a（厘米）		
			15～25	20～35	50～100
定子绕组的线负载	A	安/厘米	150～250	200～350	350～550
空气隙中的磁感应强度	B_q	高　斯	(0.75～0.85)×10^4	(0.80～0.95)×10^4	(0.8～0.9)×10^4
定子磁轭中的磁感应强度	B_c	高　斯	(1.1～1.5)×10^4	(1.2～1.5)×10^4	(1.3～1.5)×10^4
定子齿中的磁感应强度	B_z	高　斯	(1.5～1.7)×10^4	(1.6～1.75)×10^4	(1.7～1.8)×10^4

表4-2　　绕组系数f_1与短距系数K_p、分布系数K_d的关系

绕组的元件数	分布系数K_d	短距系数K_p									
		0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
		绕组系数f_1									
1	1.000	0.997	0.988	0.972	0.951	0.924	0.891	0.853	0.809	0.76	0.700
2	0.966	0.963	0.954	0.939	0.919	0.893	0.861	0.824	0.784	0.734	0.676

续表

绕组的元件数	分布系数 K_d	短距系数 K_p									
		0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
		绕组系数 f_1									
3	0.960	0.957	0.948	0.933	0.913	0.887	0.855	0.819	0.777	0.730	0.672
4	0.958	0.955	0.947	0.931	0.911	0.885	0.854	0.817	0.775	0.728	0.671
5～7	0.957	0.954	0.946	0.930	0.910	0.884	0.853	0.816	0.774	0.727	0.670

【例】 有一台三相异步电动机，只有空壳铁芯，测得定子铁芯数据为：外直径$D_a=24.5$厘米，内直径$D_{i1}=15.5$厘米，净长度$l_{Fe}=8.2$厘米，磁轭高$h_E=2.6$厘米，齿宽度$b_t=0.817$厘米，定子槽数$Q_1=36$槽。试决定定子每槽导线数。

解：（1）极数 $$2p=0.5\frac{D_{i1}}{h_E}=0.5\times\frac{15.5}{2.6}=3$$

取$2p=4$。

（2）极距面积 $$Q_K=\frac{\pi D_{i1}l_{Fe}}{2p}$$

$$=\frac{3.14\times15.5\times8.2}{4}$$

$$=100\text{厘米}^2。$$

（3）每极磁通 $$\Phi=0.637Q_KB_q$$

$$=0.637\times100\times8000$$

$$=5.1\times10^5\text{麦}。$$

（4）定子轭的截面积

$$2Q_c=2h_El_{Fe}\times0.93=2\times2.6\times8.2\times0.93$$

$$=39.3\text{厘米}^2。$$

（5）轭铁中的磁感应强度

$$B_c = \frac{\Phi}{2Q_c} = \frac{5.1\times10^5}{39.3} = 1.3\times10^4 \text{高斯。}$$

（6）定子齿的面积

$$Q_z = \frac{Q_1}{2p} b_t\, l_{Fe} \times 0.93 = \frac{36}{4} \times 0.817 \times 8.2 \times 0.93$$

$$= 56.2 \text{厘米}^2\text{。}$$

（7）定子齿的磁感应强度

$$B_z = \frac{1.57\Phi}{Q_z} = \frac{1.57\times5.1\times10^5}{56.2} = 14250 \text{高斯。}$$

（8）绕组的电压$U_{\Phi e}=220$伏，节距

$$y = \frac{Q_1}{2p} = \frac{36}{4} = 9\text{。}$$

（9）每相串联匝数

$$Z_\Phi = \frac{U_{\Phi e}\times10^6}{2.22\Phi} = \frac{220\times10^6}{2.22\times5.1\times10^5} = 191 \text{匝/相，}$$

取$Z_\Phi = 192$匝/相。

（10）每槽导线数

$$Z = \frac{6aZ_\Phi}{Q_1} = \frac{6\times1\times192}{36} = 32 \text{匝/槽，}$$

式中　$a = 1$路。

（11）电动机的容量

极距　$\tau_p = \frac{\pi D_{i1}}{2p} = \frac{3.14\times15.5}{4} = 12.2$厘米。

查表3-2得　$K = 1.55\times10^{-6}$。

$$P = 1.55\times10^{-6} D_{i1}^2\ l_{Fe}\, n_1$$

$$= 1.55\times10^{-6}\times15.5^2\times8.2\times1500$$

$$= 4.58 \text{千瓦，}$$

取P_e=4.5千瓦。

结论：（1）计算结果B_c、B_z值符合表4-1的要求；

（2）从有关电工手册“异步电动机铁芯和线圈的技术数据”中查得，本计算结果与原设计（JO51-4型）一致。

第五章

三相异步电动机定子绕组重绕的计算法（四）

三相异步电动机定子绕组重绕时首先要确定电动机的极数和容量。极数的计算可以从式（1-1）得出。本章介绍用查曲线的方法来确定电动机的容量。

一、求电动机容量

当已知电动机的定子铁芯内直径D_{i1}（厘米），铁芯净长度l_{Fe}（厘米），则由$D_{i1}^2 \times l_{Fe}$（厘米^3）的相乘积及电动机的极数查图5-1和图5-2两种曲线，可得出电动机的容量。

从曲线所得的容量与电动机的标准容量等级比较，可以取邻近的一级容量为额定计算容量。如从曲线查得电动机的铁芯尺寸可绕5千瓦的容量。按J、JO（参见附表2）系列电动机的标准容量等级则介于4.5千瓦与7千瓦之间，但靠近4.5千瓦，就取P_e=4.5千瓦。若为J2，JO2系列，则取P_e=5.5千瓦。

二、计算每槽导线数

假定电动机定子绕组的相电压U_ϕ=220伏，频率f=50赫，则

1）当电动机的绕组接法为Y接时，每槽导线数

$$Z_Y = 2.5 \times 10^6 \frac{U_\Phi \times a}{n_1 \times Q_1 \times S_{Fe}}。\qquad (5\text{-}1)$$

2）当电动机绕组接法为△形接线时的每槽导线数

$$Z_\Delta = 4.33 \times 10^6 \frac{U_\Phi \times a}{n_1 \times Q_1 \times S_{Fe}}，\qquad (5\text{-}2)$$

式中 $S_{Fe} = \pi D_{i1} l_{Fe}$（厘米^2）为 定子铁芯内圆周的表面积。

公式（5－1）、（5－2）的推导

定子绕组每相匝数

$$Z_\Phi = \frac{p \times q \times Z}{a}，\qquad (5\text{-}3)$$

或

$$Z_\Phi = \frac{U_\Phi \times 10^8}{K_W \times 4.44 f B_q l_{Fe} \tau_p}，\qquad (5\text{-}4)$$

且（5－3）式等于（5－4）式，即

$$\frac{p \times q \times Z}{a} = \frac{U_\Phi \times 10^8}{K_W \times 4.44 f B_q l_{Fe} \tau_p}，$$

$$Z = \frac{a \times U_\Phi \times 10^8}{K_W \times 1.11 \times 4 \times \frac{p n_1}{60} B_q l_{Fe} \frac{\pi D_{i1}}{2p} p \frac{Q_1}{2pm}}$$

$$= \frac{60 \times a' \times m \times U_\Phi \times 10^8}{(K_W \times 1.11)\ n_1\ (\pi D_{i1} l_{Fe})\ Q_1 \times B_q}$$

$$= 2.5 \times 10^6 \frac{U_\Phi \times a}{n_1 \times Q_1 \times B_q}，$$

式中 $K_W \times 1.11 = 1.0$，相数$m = 3$，空气隙的磁感应强度$B_q = 7200$高斯。

当$U_\Phi = 220$伏时，式（5－1）、（5－2）可改写为：

Y接法：

$$Z_Y = 5.5 \times 10^8 \frac{a}{n_1 \times Q_1 \times S_{Fe}} \text{（匝/槽）。} \quad (5\text{-}5)$$

△接法：

$$Z_\Delta = 9.55 \times 10^8 \frac{a}{n_1 \times Q_1 \times S_{Fe}} \text{（匝/槽）。} \quad (5\text{-}6)$$

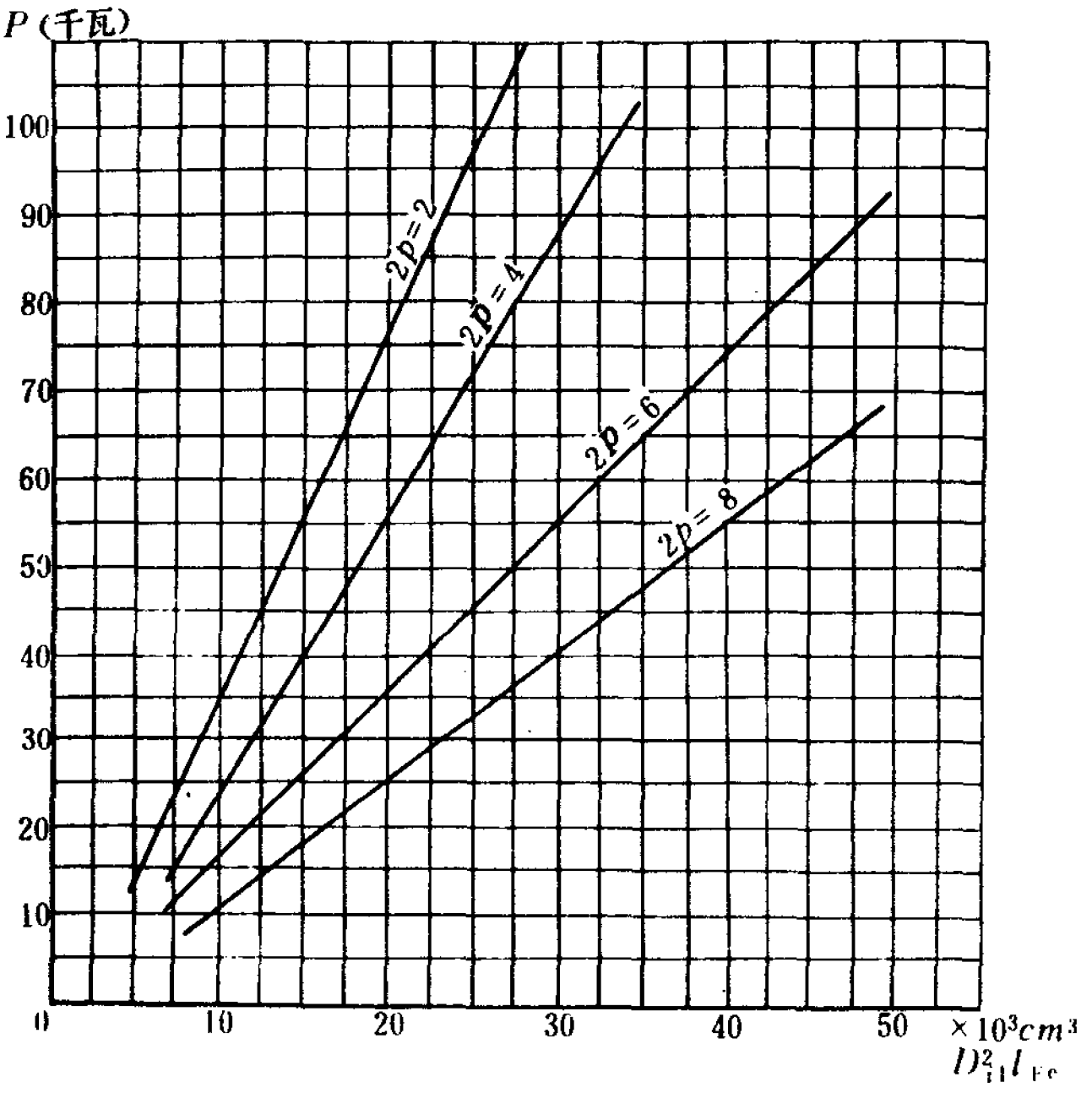


图5－1　J、JO系列三相异步电动机
$P = f(D_{i1}^2 \ l_{Fe})$曲线

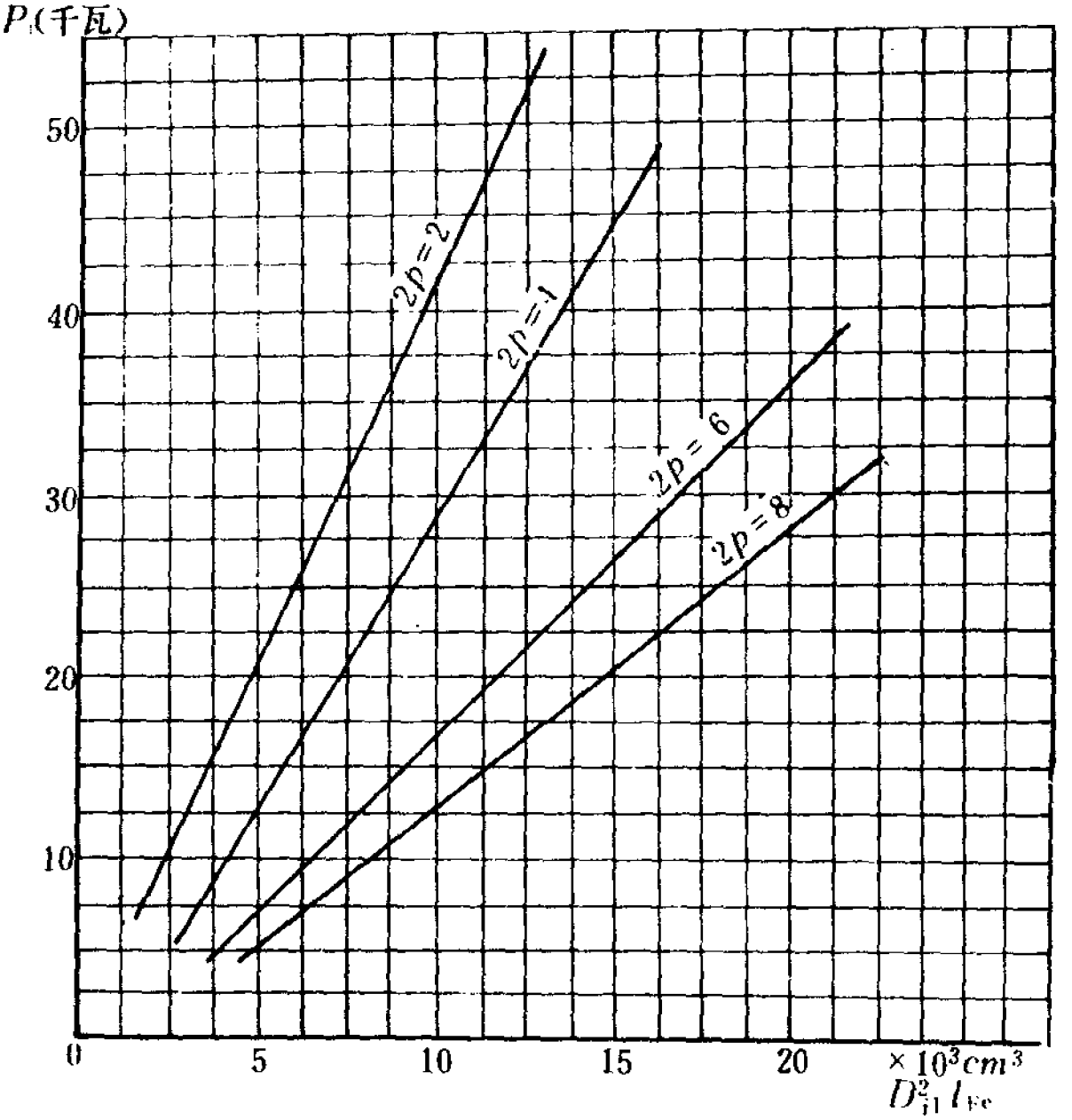


图 5－2　JO 2 系列三相异步电动机
$P = f(D_{i1}^2 \ l_{Fe})$ 曲线

【例】　有一台 JO型三相异步电动机，测得定子铁芯的数据是：外直径$D_a = 24.5$厘米，内直径$D_{i1} = 14.5$厘米，净长度 $l_{Fe} = 8.2$厘米，磁轭高 $h_E = 3.6$厘米，定子槽数$Q_1 = 24$槽。试决定每槽导线数。

解：根据式（5－5）

（1）每槽导线数

$$Z_Y = 5.5 \times 10^8 \frac{a}{n_1 Q_1 S_{Fe}} = 5.5 \times 10^8 \times \frac{1}{3000 \times 24 \times 373}$$

$= 20.4$匝/槽，　取 $Z_Y = 21$匝/槽，

式中　$S_{Fe} = \pi D_{i1} l_{Fe} = 3.14 \times 14.5 \times 8.2 = 373$厘米^2；

$U_\phi = 220$伏，$a = 1$路，$n_1 = 3000$转/分。

因为 $2p = 0.5\dfrac{D_{i1}}{h_E} = 0.5 \times \dfrac{14.5}{3.6} = 2$ 极。

（2）电动机的容量

$D_{i1}^2 \ l_{Fe} = 14.5^2 \times 8.2 = 1.72 \times 10^3$厘米^3。

从图 5－1 查得 $P = 5$ 千瓦。

从表 3－2 查得当极距 $\tau_p = \dfrac{\pi D_{i1}}{2p} = \dfrac{\pi \times 14.5}{2} = 22.8$ 厘米时，电动机的容量系数 $K \approx 1.8 \times 10^{-3}$，

$$P = K D_{i1}^2 \ l_{Fe} n_1 = 1.8 \times 10^{-3} \times 14.5^2 \times 8.2 \times 3000$$

≈ 9.3千瓦。

以上计算发生矛盾，说明上述铁芯尺寸可以重绕4.5千瓦或7千瓦两种容量。这时应在计算电动机嵌线的槽满率中再行确定。同时还要查看电动机转轴的直径，是4.5千瓦或是7千瓦电动机的轴径值，以免估错容量造成电动机过载而断轴。

小　　结

以上介绍的四种计算异步电动机定子绕组的简易计算法，总结起来，第一、二种方法可以叫做经验公式法；第三、四种是派生的方法。这四种方法的出发点各有不同，要解决的问题却是一样，都是要求试算出每槽导线数及容量（最终是决定导线直径）。这四种计算方法，已知的条件是相同的，那末什么时候用哪一种方法较合适呢？事实上，第一、二两种是基本方法，用哪一种都可以。并且可以用这两种方法互

相校对计算结果。

第一、二两种方法简单、方便，易学易用。但是计算一台电动机，查阅电机学和电机设计的资料，公式繁多。为何能简化到如此地步呢？要知道，公式的简便，并不等于设计思想的简单。经验公式的建立是经过许多统计数据的整理而找出其内在的联系。并且本书要解决的还只是修理电动机计算中很少的一部分内容，许多问题尚需进一步探讨。

例如，$Z_\Phi = \dfrac{(22.4 \sim 24) \times 10^3}{Q_K}$，即 $Z_\Phi \times Q_K =$ 常数。

这是根据电机学的基础理论和设计理论得出的公式。$Z_\Phi \times Q_K$ = 常数是一个通用公式。但是常数取多大合适？对于不同类型、规格的电动机是很不相同的。本书介绍的公式对于40千瓦以下的电动机是适用的；大于40千瓦的电动机在个别情况下误差可能较大，这时采用一、二两种公式进行校算，可以减少错误。

100千瓦以上的电动机能用这些公式吗？当然也可用这些简易公式。但由于100千瓦以上的电动机定子铁芯尺寸大，电动机的每槽导线数较少，对于有一定修理经验和计算能力的读者，照样能够得到正确的结果。

重要的一点是希望读者在计算之后，如果有资料，还核对异步电动机铁芯和线圈的技术数据，以免由于计算经验不足，造成错误。

第六章

导线直径选择和槽满率及节距的计算

一、导线直径的选择

为了计算导线的截面积，选择导线的直径，必须先选定绕组的电流密度Δ。当电动机的容量小于100千瓦时，定子绕组的电流密度可选用Δ = 5 ~ 6 安/毫米^2，或从表6－1查选。

导线的截面积　$S = \dfrac{I_e}{\Delta a N}$（毫米^2），　　(6-1)

式中　I_e——电动机绕组的额定电流（安）；

N——在一个有效导体内的元件数。

导线的直径　$d = 1.13\sqrt{S}$（毫米）。　　(6-2)

从公式（6－2）计算出的线径，还应查线径表，选择标准的线径，并注意其绝缘的厚度。因为计算槽满率时是考虑带绝缘的导线。

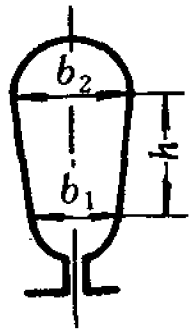
表6－1　　电动机绕组的电流密度

数值名称	定子铁芯的外直径D_a（厘米）		
	15~25	20~35	50~100
定子绕组电流密度（安/毫米^2）	6 ~ 8	5 ~7.5	5 ~5.5

二、槽满率的计算

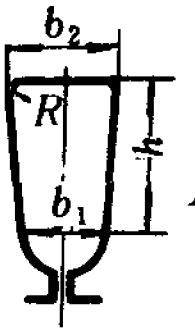
为了校核定子槽中是否能够容纳所有的计算出的匝数（包括导线绝缘及槽绝缘），对于不同的定子槽形，必须计算

出槽的截面积A_s（毫米^2）。各种定子槽形面积A_s的近似计算公式可参见图6－1。



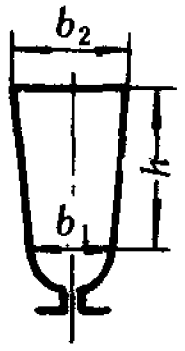
$$A_s = 0.395\,(b_1^2 + b_2^2) + 0.5\,(b_1 + b_2)$$

（1）



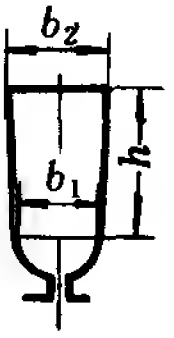
$$A_s = 0.395\,b_1^2 + 0.5\,h\,(b_1 + b_2)$$

（2）



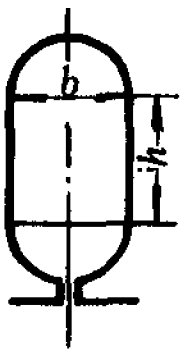
$$A_s = 0.395\,b_1^2 + 0.5\,h\,(b_1 + b_2)$$

（3）



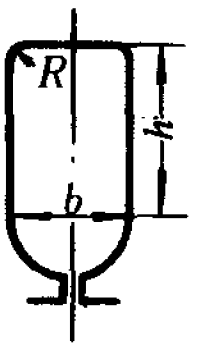
$$A_s = 0.5\,h\,(b_1 + b_2)$$

（4）



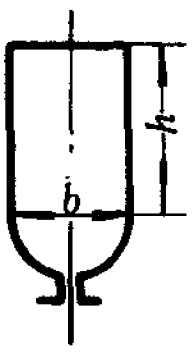
$$A_s = b\,h + 0.785\,b^2$$

（5）



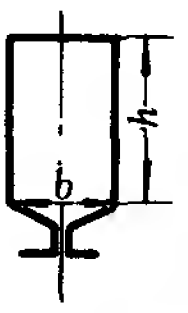
$$A_s = b\,h + 0.395\,b^2$$

（6）



$$A_s = b\,h + 0.395\,b^2$$

（7）



$$A_s = b\,h$$

（8）

图6－1　各种形状的定子槽及槽面积A_s的近似计算公式

定子的槽满率　　$f_s = \dfrac{Z d_1^2}{A_s}$，　　(6-3)

式中　d_1——带绝缘厚度的导线直径（毫米）。

由于导线绝缘的实际厚度各不相同，所以槽内的有效截面积A_s'必须由A_s减去槽楔子、槽绝缘以及导线间的绝缘所占去的面积。且

$$f_s' = \frac{Z d_1^2}{A_s'} \leqslant 0.75,$$

是一般所要求的。当$f' \leqslant 0.75$时，可以保证嵌线不发生困难。

如果发生槽内放不下已经选择的导线直径和从计算确定的每槽导线数时，就应该保持槽线数不变而改变导线的直径（通常把线径变小一个线规号），或是采用绝缘皮较薄的高强度漆包线。但导线直径改细，电动机的容量也就降低。

为了估算槽里能否容纳计算出的槽线数，可以采用下式进行计算：

槽里可以容纳导线的截面积 = 槽的截面积(A_s')× 占空因数(ξ)

$$= A_s' \times 0.5。 \qquad (6-4)$$

例如，在第三章【例1】中，已测得该电动机的定子槽形如图6-2所示。

槽的截面积可按图6-1的第一种槽形进行计算：

$$A_s = 0.395(b_1^2 + b_2^2) + 0.5h(b_1 + b_2)$$
$$= 0.395(11.5^2 + 13.4^2)$$
$$+ 0.5 \times 7.5(11.5 + 13.4)$$

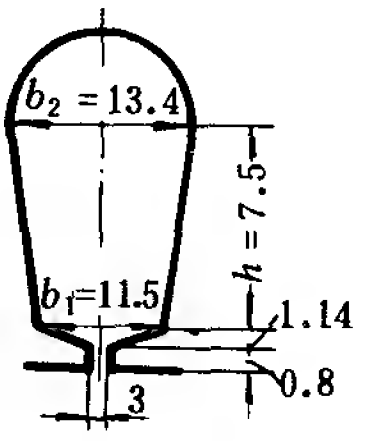


图6-2　槽形尺寸图

$$= 123 + 93.5 = 216.5 \text{毫米}^2。$$

从表 6－1 查出，当$D_a = 24.5$厘米，$\Delta = 7.2$安/毫米^{2}时，

则导线的截面积 $S = \dfrac{I_e}{\Delta a N} = \dfrac{11.0}{7.2 \times 1 \times 1} = 1.53$毫米^2。

其中 $I_e = 11$安（为10千瓦电动机△接，380伏电压，$a = 1$路时的额定电流）。

导线的直径 $d = 1.13\sqrt{S} = 1.13\sqrt{1.53} = 1.4$毫米。若采用高强度漆包线，则带绝缘的导线直径 $d_1 = 1.51$毫米。

导线的总面积 $Zd_1^2 = 37 \times 1.51^2 = 83.6$毫米^2，且

$$\frac{Zd_1^2}{A_s} = \frac{83.6}{216.5} = 0.385,$$

即使考虑槽绝缘的厚度，上述槽的尺寸也能容纳所计算的导线数。

三、线圈节距的计算

（1）绕组全节距 $y = \dfrac{Q_1}{2p}$。 (6-5)

（2）绕组元件的平均宽度

$$\tau_y = \frac{\pi (D_{i1} + h_s)}{Q_1} y_1, \quad (6-6)$$

式中 y_1——绕组的短节距（选定的实际下线节距）。

（3）绕组端接部分的长度

$$L_1 = A_1 \tau_y + B_1 \text{（厘米）}, \quad (6-7)$$

式中 A_1、B_1——绕组端接部分的系数。

（4）绕组半匝线圈的平均长度

$$L_W = l_{Fe} + L_1 \text{（厘米）}, \quad (6-8)$$

式中 l_{Fe}——铁芯长度。

系数A_1、B_1是与电动机定子铁芯叠装工艺有关的。如果定子铁芯叠压后就下线，然而把这部分带线圈的铁芯压入机壳，这种叫“外压装”工艺，此时A_1、B_1的值取得较小；如果是把定子铁芯压入机壳后再进行下线，这种叫“内压装”工艺，则A_1、B_1的数值取得较大。而修理的电动机均属于后者，所以A_1、B_1值应从表6－2中取较大的数。

表6－2　　系数A_1、B_1的数值

电动机的极数$2p$	外叠压成的铁芯		内叠压成的铁芯	
	A_1(厘米)	B_1(厘米)	A_1(厘米)	B_1(厘米)
2	1.25	2	1.30	3
4	1.30	2	1.35	3
6	1.40	2	1.45	3
8	1.50	2	1.55	3

例如，在第三章的【例1】中，定子槽数$Q_1=24$槽，极数$2p=2$。

（1）绕组的全节距　　$y=\dfrac{Q_1}{2p}=\dfrac{24}{2}=12$槽；

绕组的短节距　$y_1=11$（即1～12下线）。

（2）绕组元件的平均宽度

$$\tau_y=\frac{\pi\ (D_{i1}+h_s)}{Q_1}\ y=\frac{3.14\ (14.5+1.4)}{24}\times 11$$

$=23$厘米，

式中　$h_s=1.4$厘米（定子槽高度）。

（3）绕组端接部分的长度

$$L_1=A_1\tau_y+B_1=1.3\times 23+3=33\text{厘米}。$$

（4）绕组半匝线圈的平均长度

$$L_W=l+L_1=11.5+33=44.5\text{厘米}\approx 45\text{厘米}。$$

第七章

单相和三相异步电动机改接的计算

一、单相异步电动机改变电压的计算

异步电动机除了绕组重绕外，有时还需要改变电动机的运行参数。通常有改变电压、极数两种。

单相电动机当电压需要从U_1改变为U_2（如从220伏改接到110伏），则必须使线圈的电流密度和每匝电压尽可能地保持原来的数值。这样才能使电动机的损耗和各部分的磁感应强度保持不变，并使电动机的运行性能不变。

单相异步电动机改变电压时其绕组匝数和导线的计算方法如下：

$$Z_{p2} = Z_{p1}\frac{U_2}{U_1}\text{（匝）}, \qquad (7\text{-}1)$$

式中 U_1、Z_{p1}——原来电机的电压和匝数；

U_2、Z_{p2}——改接的新电动机的电压和新的绕组匝数。

电动机的每槽导线数

$$Z_2 = Z_1\frac{Z_{p2}}{Z_{p1}} = Z_1\frac{U_2}{U_1}。 \qquad (7\text{-}2)$$

导线的截面积

$$S_2 = S_1\frac{Z_1}{Z_2} = S_1 \times \frac{U_1}{U_2}。 \qquad (7\text{-}3)$$

导线的直径

$$d_2 = d_1\sqrt{\frac{U_1}{U_2}}。 \qquad (7\text{-}4)$$

起动绕组的计算与工作绕组的计算方法相同。

总之，若提高电动机的工作电压，则绕组的匝数与电压的增加成正比增加；但导线的截面积却与电压增加的倍数成反比的缩小。当电压降低时，匝数与电压成正比例减少，导线的截面积却按电压降低的倍数成反比例增大。

二、三相异步电动机改变电压的计算

三相异步电动机改变电压时必须注意：

（1）是否能够利用改变线圈接线的方法（△或Y接），使电动机从一个电压适用于另一个电压。计算的方法是：

$$K_U\% = \frac{U_e'}{U_e} \times 100\%, \qquad (7\text{-}5)$$

式中 $K_U\%$——改接前后的电压比；

U_e——绕组的额定相电压(伏)。

从计算出的$K_U\%$值查表7－1，看是否有合适的接法能够采用。

（2）用改变接线方法来改变电压。这时电动机的主绝缘没有变动，因此应考虑原来电动机的绝缘质量是否能承受改接后的电压。

（3）若无法用改变接线来满足改变电压的要求时，就必须重绕电动机的绕组。如将低压电动机改为高压电动机，由于槽中的绝缘加厚，电动机的容量势必降低。如将高压电动机改为低压电动机，槽中的绝缘减少，可以增加导线的截面积，电动机的容量有时可以适当增加，但还应该注意电动机轴的传动功率能否增加。电动机绕组重绕时，其接法（△接或Y接）和每极每相槽数（q）等均应保持与原来的数据相同。

（4）重绕时线圈每匝电压应保持不变，电动机的线圈节距、极数、出力、相数应保持不变。

（5）重绕线圈时，匝数与导线截面积的计算与单相电动机的计算相同，但计算出的导线截面积较大时，可用双根或多根导线并联绕制，以便于线圈的绕线和嵌槽。也可用表7-1中所提示的2路以上的并联接法。

（6）对于绕线式转子的异步电动机，不论是改变接线方法或重绕定子的线圈，转子的绕组可以不予改变。

【例1】 一台1000伏，6极二路Y接的三相异步电动机，要在三相380伏的电源上使用，是否能用改变接线的方法满足要求？

解： 计算电压比：$K_U\% = \frac{380}{1000} \times 100\% = 38\%$。

从表7-1的第二行，查到第十一列“三路并联△接”下面的数字是39%最为接近。这样的接线又符合6极电动机的规定（参见表3-3）。所以上述的电动机改为三路并联△形接线后，可在380伏电压下运行。

【例2】 有一台三相异步电动机，铭牌上的数据是：容量41马力，电压550伏，电流41.5安，6极，△接法，50赫。拆下定子线圈测得每槽导线数为11根。测得定子铁芯的数据为：外直径$D_a = 35$厘米，内直径$D_{i1} = 25$厘米，净长度$l_{Fe} = 42$厘米，磁轭高$h_e = 2.58$厘米，定子槽数$Q_1 = 54$槽。今欲改在380伏电源上运行。试计算每槽导线数。

解：（1）电动机的极数

$$2p = 0.5\frac{D_{i1}}{h_E} = 0.5 \times \frac{25}{2.58} = 4.85。$$

计算结果表明这台电动机应是4极。原设计是六极电动机，

其轭铁没有得到充分利用。

（2）容量

$$P = 1.75 D_{i1}^{2}\ l_{Fe} n_1 \times 10^{-6}$$

$$= 1.75 \times 25^{2} \times 42 \times 1000 \times 10^{-6}$$

$$= 45 \text{千瓦}。$$

铭牌容量为41马力（30千瓦）。考虑到这是一台老式电动机（从轭铁的没有充分利用，说明其铁芯质量较低），且设计时较保守，但41马力容量是能够保证的。

（3）每相的串联匝数

$$Z_{\Phi} = \frac{(22.4 \sim 24) \times 10^{3}}{Q_K} = \frac{(22.4 \sim 24) \times 10^{3}}{550}$$

$$= 41 \sim 43 \text{匝/相},$$

式中 $$Q_K = \frac{\pi D_{i1} l_{Fe}}{2p} = \frac{3.14 \times 25 \times 42}{6} = 550 \text{厘米}^2。$$

（4）每槽导线数

$$Z = \frac{6 a Z_{\Phi}}{Q_1} = \frac{6 \times 1 \times (41 \sim 43)}{54}$$

$$= 4.55 \sim 4.8 \text{匝/槽}。$$

由于电动机为△接法，所以每槽导线数实为：

$$\sqrt{3} Z = 1.73(4.55 \sim 4.8) = 7.9 \sim 8.3 \text{匝/槽},$$

取$Z = 8$匝/槽。

以上的计算表明改变电动机电压时的计算与重绕线圈的计算本无差别。

以上计算还可按电压的改变成正比例地计算出每槽导线数，即

$$Z_{380} = Z_{550} \times \frac{380}{550} = 11 \times \frac{380}{550} = 7.6 \text{匝/槽}。$$

表7-1　　三相绕组改变接线的电压比

绕组改后的接线法 / 原来定子绕组的接线法	一路Y接	二路并联Y接	三路并联Y接	四路并联Y接	五路并联Y接	六路并联Y接	八路并联Y接	十路并联Y接	一路△接	二路并联△接	三路并联△接	四路并联△接	五路并联△接	六路并联△接	八路并联△接	十路并联△接
一路Y形	100	50	33	25	20	17	12.5	10	58	29	19	15	12	10	7	6
二路并联Y形	200	100	67	50	40	33	25	20	116	58	39	29	23	19	15	11
三路并联Y形	300	150	100	75	60	50	38	30	173	87	58	43	35	29	22	17
四路并联Y形	400	200	133	100	80	67	50	40	232	116	77	58	46	39	29	23
五路并联Y形	500	250	167	125	100	83	63	50	289	144	96	72	58	48	36	29
六路并联Y形	600	300	200	150	120	100	75	60	346	173	115	87	69	58	43	35
八路并联Y形	800	400	267	200	160	133	100	80	460	232	152	120	95	79	58	46
十路并联Y形	1000	500	333	250	200	170	125	100	580	290	190	150	120	100	72	58
一路△形	173	86	58	43	35	29	22	17	100	50	33	25	20	17	12.5	10
二路并联△形	346	173	115	87	69	58	43	35	200	100	67	50	40	33	25	20
三路并联△形	519	259	173	130	104	87	65	52	300	150	100	75	60	50	38	30
四路并联△形	692	346	231	173	138	115	86	69	400	200	133	100	80	60	50	40
五路并联△形	865	432	288	216	173	144	118	86	500	250	167	125	100	80	63	50
六路并联△形	1038	519	346	260	208	173	130	104	600	300	200	150	120	100	75	60
八路并联△形	1384	688	464	344	280	232	173	138	800	400	267	200	160	133	100	80
十路并联△形	1731	860	580	430	350	290	216	173	1000	500	333	250	200	167	125	100

取Z_{380} = 8 匝/槽，则与以上计算结果相同。

三、改变电动机极数的计算

（1）在一定的电源频率下运行的异步电动机，电动机的转速与极数有下列的关系：

$$n_1 = \frac{60f}{p}\text{（转/分）。}$$

若电动机转速变动，将使电动机的通风情况改变，电动机的散热条件也就变动。所以电动机的发热情况迫使电动机改变极数必然引起电动机容量的改变。一般可以近似地认为电动机的容量随极数的增加（转速降低）而成正比例地降低。如10千瓦 4 极的电动机改为10极，则容量将降低为 4 千瓦$\left(\frac{4\text{极}}{10\text{极}} \times 10\text{千瓦} = 4\text{千瓦}\right)$。

（2）极数改变，电动机铁芯各部分的磁感应强度变化很大。如将 4 极电动机改为 2 极，改极后定子磁轭部位的磁感应强度将显著提高；而将 4 极电动机改为10极，则电动机容量和定子磁轭的磁感应强度都将显著减少，致使电动机的性能恶化。因此不允许使改极前后的电动机的转速变化太大。尤其是对于提高电动机转速的改极（转速提高，电动机机械运行性能也会发生变化，如出现振动等）。

（3）为了提高电动机转速而改极，牵涉到轴承是否会过热而影响轴承寿命。同时转速提高，转子和转轴的机械强度是否可靠，电动机的振动情况是否允许，均需进行校验。

（4）对于绕线式转子的异步电动机的改极，必须把定子绕组和转子绕组同时进行更换。为了减少重绕线圈的工作量，一般只对鼠笼式异步电动机进行定子绕组的改极重绕。

（5）改极的电动机必须十分注意电动机定子槽数Q_1和转子槽数Q_2的配合，并避免出现下面的关系，即：

$$Q_1 - Q_2 = \pm 2p$$

$$Q_1 - Q_2 = 1 \pm 2p$$

$$Q_1 - Q_2 = 2 \pm 4p$$

否则电动机将会产生强烈的噪音，不易起动和转速低等现象。因此改极时需参考不同极数时定子槽数与转子槽数的配合，最好这种槽配合能满足两种极的运行。

如一台电动机$Q_1 = 36$，$Q_2 = 26$；$Q_1 = 36$，$Q_2 = 44$。这种槽配合，对于4极、6极电动机均适合。若$Q_1 = 48$，$Q_2 = 38$是4极电动机的槽配合，对于其他极数运行就不能满足。

（6）改极的计算方法与定子绕组重绕的计算相同。但应注意异步电动机改变极数重绕线圈后，已不能保持原来电动机铁芯各部分的磁负荷数值，因而使电动机的各种性能（效率、功率因数、空载电流、起动电流、起动力距、输出功率）都有较大的变动，所以改极重绕只在不得已的情况下进行，一般尽可能不改。有时可用增加机械变速（如增加一级齿轮变速等）的方法，使电动机的运行不变而获得满意的速度。

【例3】 有一台三相4极2.8千瓦（JO42-4型）Y接380伏的电动机，测得定子铁芯的数据为：外直径$D_a = 18.2$厘米，内直径$D_{i1} = 11.0$厘米，净长度$l_{Fe} = 10.5$厘米，磁轭高$h_E = 1.7$厘米，定子槽数$Q_1 = 36$槽，转子槽数$Q_2 = 26$槽。今欲改为6极运行。试决定其每槽导线数。

解：按简易计算方法（一）进行计算，得：

（1）每相匝数 $Z_\Phi = \dfrac{(22.4\sim24)\times10^3}{Q_K}$

$$= \frac{(22.4\sim24)\times10^3}{60.5}$$

$$= 370\sim397\text{匝/相},$$

式中 $Q_K = \dfrac{\pi D_{i1} l_{Fe}}{2p} = \dfrac{3.14\times11\times10.5}{6} = 60.5$厘米^2。

（2）空气隙的磁感应强度

$$B_q = \frac{1.57\times10^8}{60.5\times370} = 7040\text{高斯}。$$

（3）磁轭的磁感应强度

$$B_c = \frac{0.5\times10^8}{16.6\times370} = 8150\text{高斯},$$

式中 磁轭的截面积$Q_c = K_c h_E l_{Fe} = 0.93\times1.7\times10.5 = 16.6$厘米^2。

计算结果B_c值太低，因此调整$Z_\Phi = 300$匝/相，则

$$B_q = \frac{1.57\times10^8}{60.5\times300} = 8650\text{高斯};$$

$$B_c = \frac{0.5\times10^8}{16.6\times300} = 10000\text{高斯}。$$

这样与表2-1的允许值相差较少。实践证明这种改极后运行良好。但此时电动机的容量必须按比例减少为：

$$2.8\times\frac{1000}{1500} = 1.86\text{千瓦}。$$

按附表2，J、JO系列的电动机，显然极数从4极改为6极后，电动机的容量也从2.8千瓦降为1.7千瓦。

（4）每槽导线数

$$Z=\frac{6aZ_{\phi}}{Q_1}=\frac{6\times1\times300}{36}=50\text{匝/槽},$$

式中　$a=1$ 路。

从有关电工手册“异步电动机铁芯和线圈的技术数据”中查得，JO42-6 型1.7千瓦电动机的槽线数与本计算结果相同，说明计算是正确的。

【例4】　有一台JO2型三相4极0.6千瓦电动机，Y接，380伏电压。测得定子铁芯的数据为：内直径$D_{i1}=7.5$厘米，净长度$l_{Fe}=8.5$厘米，磁轭高$h_E=1.0$厘米，定子槽数$Q_1=24$槽。今欲改为2极使用，试计算其每槽导线数。

解：按简易计算方法（一），得：

（1）每相匝数

$$Z_{\phi}=\frac{(22.4\sim24)\times10^3}{Q_K}$$

$$=\frac{(22.4\sim24)\times10^3}{100}$$

$$=224\sim240\text{匝/槽},$$

式中　极距面积

$$Q=\frac{\pi D_{i1}l_{Fe}}{2p}=\frac{3.14\times7.5\times8.5}{2}=100\text{厘米}^2。$$

（2）每槽导线数

$$Z=\frac{6aZ_{\phi}}{Q_1}=\frac{6\times1\times(224\sim240)}{24}=56\sim60\text{匝/槽}。$$

但是4极电动机改为2极时，定子铁芯的磁轭面积不够，以下校核电动机极数的计算可说明这一点。

$$\text{电动机的极数 }2p=0.5\frac{D_{i1}}{h_E}=0.5\times\frac{7.5}{1.0}=3.75\approx4\text{ 极}。$$

说明原来设计中 $2p=3.75<4$，即轭铁高度对4极电动机显得充裕。但对 $2p=2$ 电动机，$\frac{3.75}{2}=1.875$ 倍。即原来的磁轭高度对于改为2极的电动机就小得太多了。最好能把磁轭高度改到 $h_E=1.0\times1.875=1.875$ 厘米。实际上电动机的铁芯结构已成定局。为了使轭铁部分的磁感应强度不超出表2-1中的允许值，应把每槽导线数增加，使

$$Z'=1.875Z=1.875\ (56\sim60)=105\sim113\text{匝/槽},$$

取 $Z'=110$ 匝/槽。

实践证明，这台电动机改成2极后，运行正常，并且由于电动机转速提高，电动机的容量也提高一级为0.8千瓦。

附表 1　　电机绝缘的等级标准

等级	最高允许温度，℃	属于该级绝缘的主要材料
Y	90	未经浸渍的丝、纸、棉纱等材料
A	105	浸油或浸漆绝缘处理的丝、纸、棉纱等材料
E	120	合成有机材料，如聚脂薄膜等
B	130	由云母、玻璃纤维、石棉等制成的带有有机胶合剂或浸渍物的材料
F	155	由云母、玻璃纤维、石棉等制成的带有耐较高温度的有机胶合剂或浸渍物的材料
H	180	硅有机材料及由云母、玻璃纤维、石棉制成带有硅有机胶合剂或浸渍物的材料
C	180以上	玻璃、陶瓷等无机材料

附表 2　　三相异步电动机的标准容量等级（千瓦）

J、JO系列	0.6，1.0，1.7，2.8，4.5，7.0，10，14，20，28，40，55，75，100　共14级
J2、JO2系列	0.6，0.8，1.1，1.5，2.2，3，4，5.5，7.5，10，13，17，22，30，40，55，75，100　共18级
J3、JO3系列	0.55，0.75，1.1，2.2，3，4，5.5，7.5，11，15，18.5，22，30，37，45，55，75，90，110，132，160　共21级

附表 3　　三相异步电动机的空载电流标准

电动机极数	空载电流/额定电流（%）
2	20 ～ 30
4	30 ～ 45
6	35 ～ 50
8	35 ～ 60

附表 4　交流电动机局部更换线圈后的绝缘耐压试验要求

序号	被试验的内容及阶段	试　验　电　压
1	定子旧线圈重嵌线后（接线前）	$1.5U_e$ 但不低于 $1.15U_e+600$ 伏
2	定子线圈备品（在嵌槽前）	$2.25U_e+200_0$ 伏
3	定子线圈备品（在嵌槽后）	$2U_e+1000$ 伏
4	定子旧线圈和新线圈（在接线焊接后）	$1.3U_e$，但不低于 U_e+500 伏
5	异步电动机转子局部绕组更换线圈后 （1）不可逆的电动机 （2）可逆的电动机	 $2U_{转开}+500$ 伏 $4U_{转开}+500$ 伏
6	大修定子而不更换线圈	$1.5U_e$，但不低于1000伏
7	大修转子而不更换线圈	$1.5U_{转开}$，但不低于1000伏

注　U_e——电动机的额定电压(伏)。

$U_{转开}$——转子开路电压(伏)。

附表5　圆铜线的规格

裸线直径（毫米）	截面积（毫米^2）	1公里的重量（公斤）	1公里的电阻（欧）
0.05	0.00196	0.01746	9100
0.06	0.00283	0.0252	6310
0.07	0.00383	0.0342	4630
0.08	0.00503	0.0447	3550
0.09	0.00636	0.0566	2810
0.10	0.00785	0.0698	2270
0.12	0.01131	0.1005	1524
0.14	0.01539	0.1368	1118
0.16	0.0201	0.1788	856
0.18	0.0255	0.226	674
0.20	0.0314	0.279	548
0.21	0.0346	0.308	497
0.23	0.0415	0.369	415
0.25	0.0491	0.436	351
0.27	0.0573	0.509	300
0.29	0.0661	0.587	260
0.31	0.0755	0.671	228

续表

裸线直径（毫米）	截面积（毫米^2）	1公里的重量（公斤）	1公里的电阻（欧）
0.33	0.0855	0.760	201
0.35	0.0962	0.855	178.8
0.38	0.1134	1.008	151.8
0.41	0.1320	1.173	130.3
0.44	0.1521	1.352	113.2
0.47	0.1735	1.542	99.2
0.49	0.1886	1.676	91.3
0.51	0.204	1.816	84.4
0.53	0.221	1.961	77.8
0.55	0.238	2.11	72.3
0.57	0.255	2.27	67.5
0.59	0.273	2.43	63.0
0.62	0.302	2.68	57.0
0.64	0.322	2.86	53.4
0.67	0.353	3.13	48.7
0.69	0.374	3.32	46.0
0.72	0.407	3.62	42.3
0.74	0.430	3.82	40.0
0.77	0.466	4.14	36.9
0.80	0.503	4.47	34.2
0.83	0.541	4.81	31.8
0.86	0.581	5.16	29.6
0.90	0.636	5.66	27.0
0.93	0.679	6.04	25.3
0.96	0.724	6.43	23.8
1.00	0.785	6.78	21.9
1.04	0.849	7.55	20.3
1.08	0.916	8.14	18.8
1.12	0.985	8.75	17.5
1.16	1.057	9.40	16.3
1.20	1.131	10.05	15.22
1.25	1.227	10.91	14.02
1.30	1.327	11.80	12.96
1.35	1.431	12.73	12.01
1.40	1.539	13.69	11.18

续表

裸线直径（毫米）	截面积（毫米^2）	1公里的重量（公斤）	1公里的电阻（欧）
1.45	1.651	14.68	10.41
1.50	1.767	15.71	9.74
1.56	1.911	16.99	9.00
1.62	2.06	18.32	8.36
1.68	2.22	19.71	7.75
1.74	2.38	21.1	7.23
1.81	2.57	22.9	6.70
1.88	2.78	24.7	6.19
1.95	2.99	26.5	5.76
2.02	3.20	28.5	5.38
2.10	3.46	30.8	4.97
2.26	4.01	35.7	4.29
2.44	4.68	41.6	3.68

封面设计：郝开勇

书号：15036·4085

定价：　0.20　元

SWB